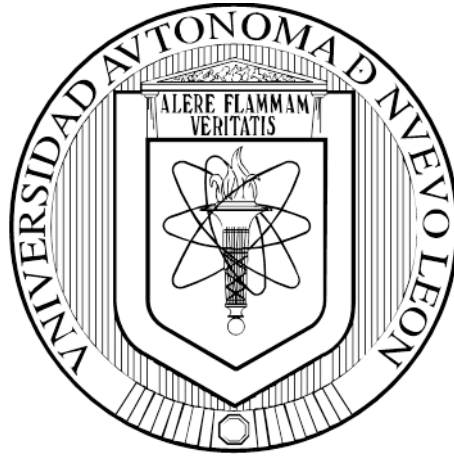


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE ARQUITECTURA**



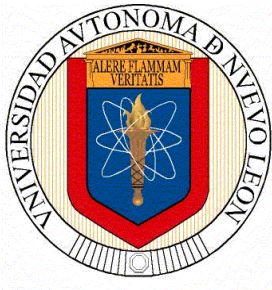
**"EL MANEJO DEL AGUA EN LA EDIFICACIÓN DE MUROS
EN LA TÉCNICA DE TIERRA VERTIDA COMPACTADA
(TVC), COMO ALTERNATIVA SUSTENTABLE DE
AUTOCONSTRUCCIÓN PARA ZONAS DESÉRTICAS DEL
NORESTE DE NUEVO LEÓN."**

POR

MAYRA MARCELA RENDÓN OLVERA

**PARA OBTENCIÓN DEL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ORIENTACIÓN EN GESTIÓN E
INNOVACIÓN DEL DISEÑO**

OCTUBRE, 2016



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE ARQUITECTURA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO



TESIS

**"EL MANEJO DEL AGUA EN LA EDIFICACIÓN DE MUROS EN LA
TÉCNICA DE TIERRA VERTIDA COMPACTADA (TVC), COMO
ALTERNATIVA SUSTENTABLE DE AUTOCONSTRUCCIÓN PARA
ZONAS DESÉRTICAS DEL NORESTE DE NUEVO LEÓN."**

POR

MAYRA MARCELA RENDÓN OLVERA

**PARA OBTENCIÓN DEL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ORIENTACIÓN EN GESTIÓN E
INNOVACIÓN DEL DISEÑO**

COMITÉ TUTORIAL

DIRECTOR: DR. ARMANDO VICENTE FLORES SALAZAR
CO-DIRECTOR: DR. GERARDO DEL JESÚS FAJARDO SAN MIGUEL

OCTUBRE, 2016

ÍNDICE

CAPÍTULO 1

VISIÓN GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN..... 5

1.1 ANTECEDENTES5

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....7

1.3 OBJETIVOS.....10

1.4 JUSTIFICACIÓN.....11

1.5 HIPÓTESIS.....12

1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES12

1.7 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....14

CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO15

ESQUEMA METODOLÓGICO15

2.1 SUSTENTABILIDAD16

2.2 VIVIENDA DE TIERRA35

2.3 EL AGUA56

CAPITULO 3 METODOLOGIA63

3.1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....63

3.2 ENFOQUE CUANTITATIVO.....63

3.3 ENFOQUE CUALITATIVO.....74

CAPITULO 4 RESULTADOS75

4.3 DATOS CUALITATIVOS80

4.1 RESULTADOS CUANTITATIVOS NO EXPERIMENTAL76

4.2 RESULTADO CUANTITATIVO EXPERIMENTAL79

CAPITULO 5 CONCLUSIONES Y PROPUESTA.....80

5.2CONCLUSIONES DEL ENSAYO86

5.3 PROPUESTA.....87

ANEXOS94

ANEXO 194

ANEXO 2.....107

ANEXO 3.....109

ANEXO 4.....110

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.Construcción de block de cemento portland gris, camino a Icamole. 7

Ilustración 2. Ecuación de Miller sobre crecimiento exponencial 9

Ilustración 3. Dimensiones del Desarrollo Sustentable.16

Ilustración 4. Vista satelital de la mancha urbana del municipio de Monterrey con respecto del municipio de García y la ruta a Icamole..... 19

Ilustración 5.Vista de los fraccionamientos inmobiliarios en la ruta de García hacia Icamole..... 20

Ilustración 6.Vista de las casas de adobe en el poblado de Icamole.....21

Ilustración 7. Cuadro comparativo del diseño verde 24

Ilustración 8. Diagrama de sistemas retroactivos 25

Ilustración 9. Interpretación sistemática de las fases del ciclo de vida de un producto. 32

Ilustración 10 Minería a cielo abierto a espaldas del parque ecológico “Sierra de las Mitras” en el municipio García..... 33

Ilustración 11.Proceso lineal del ciclo del block de concreto..... 34

Ilustración 12.Test del cordón tierra arcillosa. 36

Ilustración 13.Test del cordón tierra arenosa 36

Ilustración 14. Construcción de adobe. 38

Ilustración 15. Banco de tierra en el rio Pesquería ubicado en los límites del municipio de García. 40

Ilustración 16. Extracción manual de los bancos de tierra en las orillas del rio Pesquería que rodea el casco histórico del municipio de García. 41

Ilustración 17 Gráfico para la denominación de suelos según la textura.....45

Ilustración 18. Esquema cíclico del ciclo de la técnica constructiva de tierra..... 49

Ilustración 19. Encofrado tipo tapial. 49

Ilustración 20.Técnica de TVC. 50

Ilustración 21. Factores de riesgo en torno a la vivienda 51

Ilustración 22. Densidad de los materiales para TVC..... 67

Ilustración 23 Tierra humedecida para TVC..... 69

Ilustración 24. Mampostería de TVC.....	70
Ilustración 25. Especímenes	71
Ilustración 26. Especímenes prismáticos de arcilla	72
Ilustración 27. Ensayo de compresión.....	73
Ilustración 28. Esquema de correlación alta.....	78
Ilustración 29. Esquema de correlación baja.....	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Granulometría de suelos	44
Tabla 2. Proyecciones de hogares y viviendas	52
Tabla 3. Clasificación del agua dulce para medir HH.....	59
Tabla 4. Contenido de agua virtual de algunos productos.	60
Tabla 5. Fases de la huella hídrica para producir un block de concreto basado en cemento.	61
Tabla 6. Análisis de confiabilidad	77

CAPITULO 1

VISION GENERAL DE LA INVESTIGACION

1.1 Antecedentes

Los dramáticos efectos del cambio climático se han hecho sentir en países de todo el mundo, y la tendencia de los gases de efecto invernadero continúa aumentando. El calentamiento global está provocando cambios duraderos en el sistema climático, cuyas consecuencias pueden ser irreversibles si no se toman medidas urgentes en la producción de bienes, servicios y cadena de producción y suministros (PNUD, 2016).

Dentro de este contexto cabe mencionar que éste fenómeno, contribuye también al aumento de la desertificación. Actualmente existen en el mundo 900 millones de personas que habitan en climas desérticos o semidesérticos. Esto equivale al 15% de la población mundial, y al menos 6 millones km² de la superficie de la tierra están afectados por la desertificación. Se prevé que en menos de diez años, debido al proceso de desertificación mundial, la cifra alcance el 70% de la superficie (Plaza, 2011).

En México, la desertificación de las tierras, causadas por el cambio climático, avanza un 2% anual, y debido al cambio climático en 50 años la precipitación pluvial en México disminuirá en promedio 20%, con esta tendencia se pronostica que los acuíferos del país explotados al ritmo actual, se agotaran en aproximadamente 30 años. (Montemayor J. , Ugalde, Marcelo, & Cruz, 2015)

Ante este panorama la arquitectura vernácula resurge como respuesta a las malas prácticas de la industria extractiva de la construcción la cual está asociada a la crisis energética, calentamiento global y desertificación planetaria, (Plaza, 2011). En muchos estudios se identifica que la industria de la producción de cemento, es de las más agresivas debido a que los procedimientos para su elaboración intensifican el deterioro ambiental (Steele, 1997).

En ella, se requiere un gran consumo energético para la elaboración del producto final pues durante la producción, es preciso calentar la piedra caliza (previamente abastecida por la industria minera), lo cual se le asocia con la generación de efecto invernadero o GEI, aunado a que también durante el proceso de fabricación se utilizan combustibles fósiles para su producción, los cuales generan una vasta cantidad de dióxido de carbono, entre otros contaminantes que son liberados al ambiente, ocasionando el aumento en la temperatura por el efecto que estos gases generan en la naturaleza, (Steele, 1997).

En contraste, existe la construcción responsable que muestra una conexión íntima entre diseño y desarrollo sustentable en países de todo el mundo especialmente los países en desarrollo. Ésta está basada en los principios de la arquitectura vernácula, pues al ser elaborada con materiales locales y de bajo impacto energético por su lógica constructiva, cumple con las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras.

Por tal razón, el auge que se ha generado en recuperar los sistemas vernáculos de construcción a base de tierra es debido a que es un material local de bajo impacto energético y podría aportar soluciones efectivas para la regeneración y conservación de las zonas de emplazamiento pues además de caracterizarse por ser amigable con el ambiente debido a su lógica constructiva, es durable y tiene excelentes propiedades térmicas y acústicas durante su etapa de vida útil.

Por otro lado, dentro del marco de la investigación, se indagan que variables conllevan al desarrollo sustentable desde el punto de vista de la construcción con tierra tomando como tipología constructiva la técnica de tierra vertida compactada (TVC) así como las nuevas técnicas de construcción que puedan acoplarse y adaptarse al nuevo estilo contemporáneo de la vivienda actual.

Esto con la finalidad de que se aprovechen los recursos como agua y energía mediante una nueva visión sustentable, en un contexto de crisis energética, desertificación y crecimiento exponencial poblacional.

1.2 Planteamiento del problema

El abastecimiento de agua en la industria de la construcción

La actividad de la construcción está identificada como las que causan mayor impacto sobre el medio ambiente ya que es responsable de las alteraciones y cambios que se presentan en la naturaleza, derivado de la conformación de las zonas urbanas y rurales, por la construcción, reparación, mantenimiento, uso y demolición de obras y edificios, que consumen recursos y generan residuos los cuales muchas veces sobrepasan la capacidad de carga de otras actividades económicas, (Peña, 2015, pp. 93-96).

Por otro lado, las prácticas constructivas en tierra para edificar viviendas han ido desapareciendo rápidamente en la región noreste de México. En la actualidad, el municipio de García ha sido invadido por desarrollos inmobiliarios que edifican viviendas con materiales industrializados que lejos de proporcionar confort y bienestar al usuario, genera contaminación y degradan la calidad de vida de quien hace uso de estas viviendas de concreto por no responder al microclima de la región.



Ilustración 1. Construcción de block de cemento portland gris, camino a Icamole. Fuente: Mayra Rendón

Aunado a esto, la biodiversidad nativa se ve destruida al introducirse especies que no responden al clima regional las cuales como se muestra en la ilustración 1 lo cual empeora el deterioro de la biodiversidad nativa.

La industria de la construcción por otro lado, además de enfrentarse al fenómeno de calentamiento global, todavía tiene que asumir su responsabilidad respecto al ahorro de recursos hídricos y tomar en cuenta que la escasez del agua en el mundo es un problema más urgente que el abastecimiento de energía, ya que ésta tiene un impacto directo sobre la salud y la producción de alimentos.

Dentro de este contexto, en el estado de Nuevo León no se han encontrado estrategias sustentables para enfrentar la problemática de la escasez del recurso hídrico, por lo que sigue viéndose amenazado por la industria extractiva depredadora de los recursos naturales de la región. En este contexto, la problemática de insuficiencia de agua en México se ha agravado en las últimas décadas, lo que genera mayor tensión en la competencia por el recurso, no sólo al interior, sino con otros países.

En un intento por regular el uso del agua y de evitar los conflictos, el marco institucional ha ido cambiando sin conseguir del todo una reforma acorde con el nivel del problema. Aunado a ello el crecimiento económico no ha tomado en cuenta seriamente las señales de escasez del agua pues los modelos de desarrollo urbano han concentrado la población y la actividad económica en zonas de alta escasez de este recurso como lo son las regiones semidesérticas y desérticas del norte de México, ocasionando mayor presión sobre las reservas de agua al punto que el volumen de agua demandado es mayor que el suministrado en algunas regiones del país, (Sainz & Becerra, 2007).

Por otro lado, las zonas áridas como la región del semidesierto y desierto del norte de México, enfrentarán sequías severas, ya que según datos de la ONU se prevé que hacia el año 2025 un total de 1800 millones de personas vivirán en países o regiones de escasez de agua generado por el calentamiento global.

Aunado a esto, la demanda de insumos y recursos hídricos para la generación de bienes y servicios, en este caso el de la construcción, irá en aumento debido al crecimiento exponencial de la población como se muestra en la ilustración 2, generando mayor impacto ambiental, pues se conoce que el ciclo de vida de los productos industrializados para la construcción, en este caso el concreto, consume agua durante las fases de su ciclo de producción y elaboración (Steele, 1997).

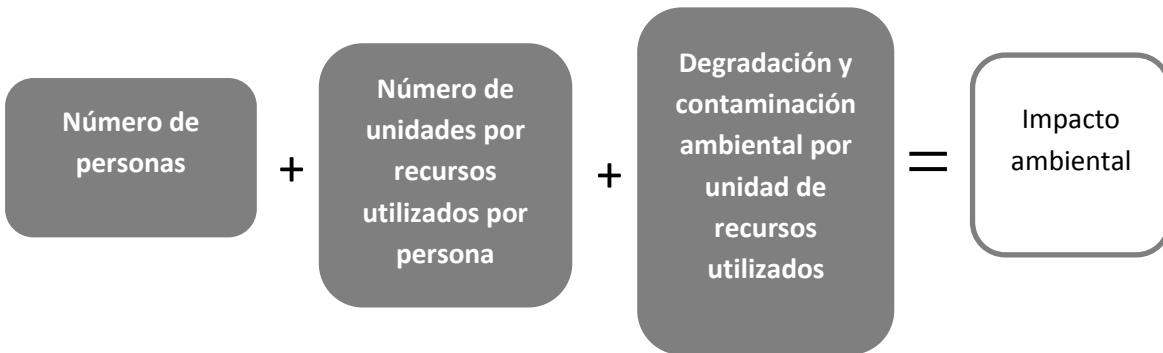


Ilustración 2. Ecuación de Miller sobre crecimiento exponencial. Fuente: (Miller, 1994)

En este contexto se hace un cuestionamiento sobre el costo de los materiales industrializados pues en éstos, no se contempla el costo del impacto ambiental que se produce a raíz de su ciclo de vida, tal como la extracción de recursos mineros, emisión de gases contaminantes, utilización de recursos no renovables como combustibles fósiles para su procesamiento y el uso del agua potable (Steele, 1997).

Por otro lado, en esta región del país, se gestan consecuencias graves en términos de contaminación por la sobre explotación de los recursos extraídos de las pedreras lo que genera una baja calidad de vida para los habitantes de las nuevas urbanizaciones establecidas en este punto de la zona semidesértica, y el área metropolitana del estado de Nuevo León.

Según un estudio de la ONU de 2012, sobre la vivienda, se establece que:

“La escasez de la vivienda digna y las condiciones deficientes de éstas, han sido el resultado de una urbanización masiva, las cuales constituyen una amenaza

para la vida arriesgando la salud, no solo debido a las condiciones deficientes de saneamiento y abastecimiento de agua, sino que también recaen en un riesgos ecológicos que se pueden prevenir”.

Se estima que entre los años 1950 y 2050, la población en el país habrá crecido 6 veces y que la responsabilidad de cuidar el mejor aprovechamiento de los recursos, arreglar el desorden causado en los últimos decenios y ordenar los contextos urbanos para lograr una mejor calidad de la infraestructura de la vivienda, es un problema actual que enfrenta la República Mexicana. Similar al de otros países en vidas de desarrollo en Asia, África y América Latina.

1.3 Objetivos

Objetivo general

Establecer las bases y lineamientos para el manejo y cuidado del agua dentro del proceso constructivo en la técnica de tierra vertida compactada orientados a mitigar el uso indiscriminado del agua dentro de la industria de la construcción; difundir y fomentar el uso de este sistema en la zona rural y sub rural del municipio de García Nuevo León.

Objetivos específicos

- Identificar cuál es la mejor práctica para utilizar la técnica de TVC como material de autoconstrucción para la vivienda en términos aprovechamiento de recursos hídricos.
- Demostrar que los sistemas de TVC pueden ser tan eficientes y competitivos como los productos de construcción industrializados en términos de aprovechamiento de insumos hídricos.
- Proponer un sistema constructivo basado en la técnica de TVC.

1.4 Justificación

La tierra es un material constructivo ecológico, además de ser el más utilizado en la arquitectura vernácula en regiones de todo el mundo por su gran calidad de desempeño en términos estructurales, térmicos, energéticos y durables.

Las edificaciones hechas con tierra, reflejan la interconexión de factores socio-culturales, ambientales, ecológicos y técnicos, adaptándose morfológicamente al lugar de emplazamiento ya que responden coherentemente a las necesidades del lugar así como a las necesidades humanas.

De manera que la tierra como material para la construcción, responde claramente a los objetivos del desarrollo sustentable, tales como la preservación, protección y mejora en la calidad de vida, utilización racional de los recursos, protección a la salud humana y promueve medidas que puedan dar soluciones a la problemática del medio ambiente a nivel global.

Por tal razón, este proyecto de investigación tiene la intención de proporcionar alternativas modernas basadas en las prácticas vernáculas estudiando la tierra como material sustentable alternativo, llevando a cabo también, un estudio de las mejores prácticas de utilización de los recursos hídricos que requiere este material para su proceso de elaboración, tomando en cuenta el lugar de emplazamiento.

Así mismo, la investigación pretende dar soluciones prácticas de diseño en términos de resistencia estructural modular para que la tierra pueda ser aplicada a este sistema, de tal forma que dé respuesta a la demanda de la vivienda de una forma inteligente, en términos energéticos, cualidades físicas y mecánicas, y conservando sus características de desempeño térmico, durabilidad, estabilidad y fácil edificación.

Se busca en el largo plazo, que este diseño de estructuras de tierra puedan ser tan eficiente, para reducir el consumo del concreto, tomando en cuenta

estratégicamente, el lugar de emplazamiento para extracción de la tierra donde los recursos no sean sobre explotados.

Por último, se busca que este nuevo sistema constructivo cumpla con los lineamientos del desarrollo sustentable, haciendo uso racional de los materiales, delimitando su lugar de extracción y procurando que en su transformación se utilicen procesos que tengan un bajo impacto en el entorno natural y el mismo material a fin de asegurar que en el término de su ciclo de vida este material pueda ser reutilizado o regresado a la tierra de forma segura.

1.5 Hipótesis

Los sistemas de autoconstrucción en tierra vertida compactada (TVC) son una alternativa para la edificación de viviendas sustentables por el ahorro en el uso del agua y energía, que se integran inteligentemente a las condiciones climáticas de la zona que comprende el municipio de García Nuevo León.

1.6 Alcances y limitaciones

La investigación se centra en dos variables importantes, la tierra como material constructivo de bajo impacto energético y el suministro de agua para la edificación de viviendas sustentables en la técnica de TVC para las regiones semidesérticas del estado de Nuevo León.

El alcance de esta investigación es conocer la dosificación de agua que se requiere para una unidad de mampostería en la técnica de TVC, sin que esta pierda sus características de resistencia, y posteriormente hacer una comparación de la

cantidad de agua que se requiere para elaborar un metro cúbico de cemento y un metro cúbico de TVC.

En esta investigación solo se contempla el procedimiento para hacer la comparación la cantidad de agua para elaborar el cemento portland gris, y no se toma en cuenta el agua adicional requerida para elaborar los muros con blocks de concreto.

Teniendo estos resultados, se pretende llegar a una resolución de mampostería para proporcionar alternativas de edificaciones de vivienda con materiales de bajo impacto energético que contribuyan al cuidado y conservación del agua por ser este un recurso crítico por su tendencia a escasear.

Por otro lado, se busca fomentar condiciones decorosas y dignas para los habitantes y seres vivos que conforman el ecosistema del semi-desierto de la zona rural y sub rural de García N.L.

Como ya se ha mencionado con anterioridad, estos sistemas constructivos al estar basados en las prácticas vernáculas, utilizan la tierra por ser este el material que abunda en la región y aplicados a estructuras y prácticas de diseño podrían atender a la demanda del crecimiento urbano, ofreciendo una solución a esta problemática (Plaza, 2011).

A largo plazo la aplicación de estos nuevos sistemas constructivos podrían contribuir a aportar soluciones que contemplen la conservación y el cuidado del agua, y ofrecer una alternativa de materiales constructivos de bajo impacto energético que sean competitivos en el mercado local, y que puedan incidir en la expansión de la ciudad como aportación de la cultura rural sobre la cultura urbana.

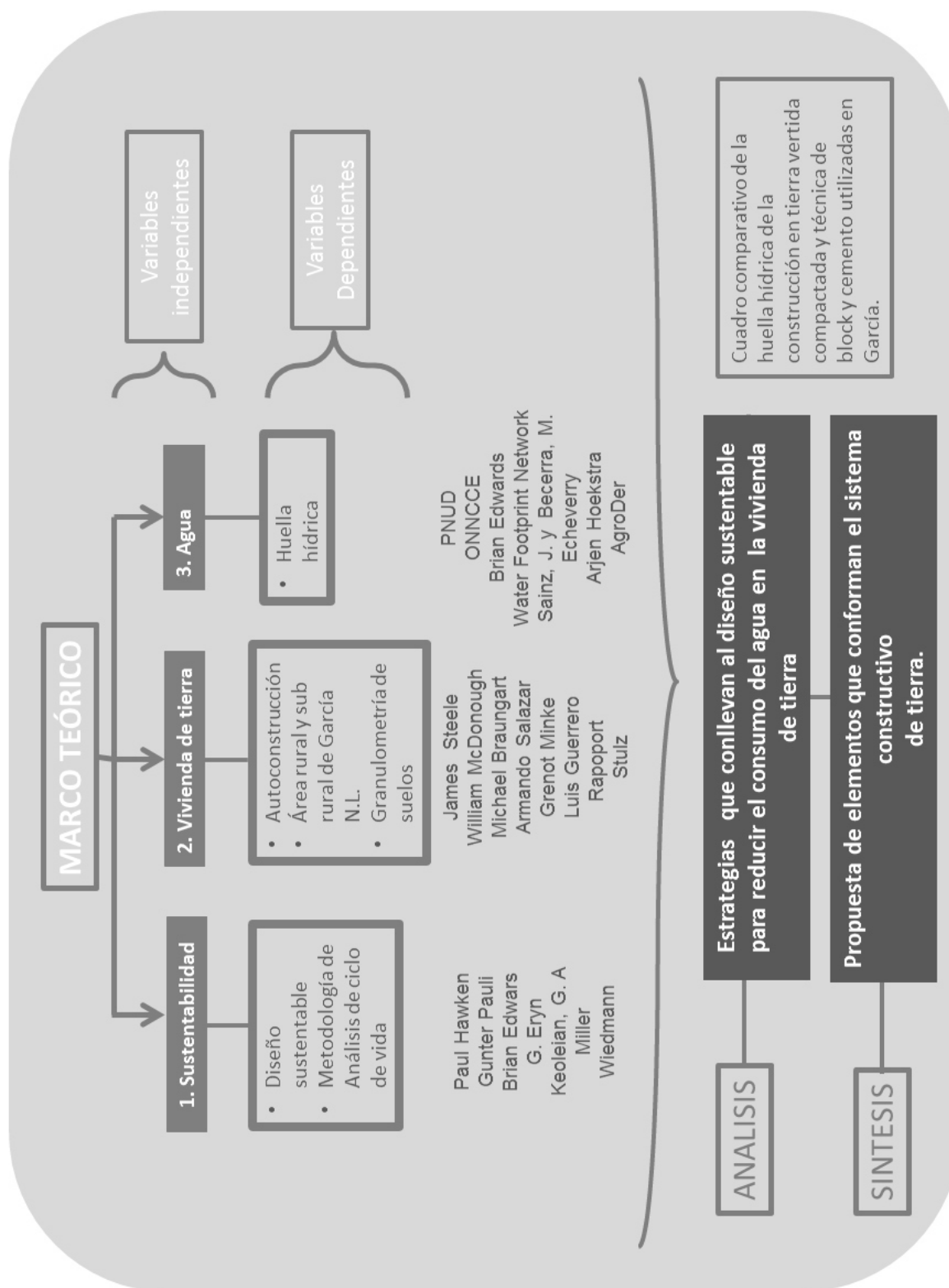
Por lo tanto se busca revindicar la arquitectura de tierra con la técnica de TVC, por ser este un sistema sofisticado constructivo que contribuye a mejorar la calidad de la vivienda, preservar la biodiversidad y conservar medio ambiente.

1.7 Preguntas de investigación

1. ¿La técnica de Tierra Vertida Compactada es la tipología de arquitectura de tierra más adecuada para implementarse en las zonas semidesérticas del estado de Nuevo León en términos de durabilidad y eficiencia térmica?
2. ¿Existe una reducción del consumo de agua entre la técnica de TVC en comparación con la técnica del block de concreto basado en cemento portland gris?
3. ¿La técnica de TVC pudiera ayudar a mejorar la gestión y conservación del agua en las construcciones?

CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO

Esquema metodológico



2.1 Sustentabilidad

El concepto de desarrollo sustentable surge a raíz de la creciente preocupación por el cuidado del planeta e involucra esfuerzos encaminados a la utilización eficiente y responsable de los recursos provistos por la naturaleza con la intención de lograr el equilibrio ecológico.

La definición más citada es aquella elaborada por el “Informe de Brundtland en 1987, por la comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo para la Organización de las Naciones Unidas, ONU.

En este informe se establece que el desarrollo sustentable implica “satisfacer las demandas de las generaciones presentes sin comprometer las demandas de las generaciones futuras”. Abarca tres dimensiones importantes que establecen que las actividades productivas tienen que ser económicamente viables, ambientalmente soportables, y socialmente responsables.

Para que el desarrollo sustentable pueda emerger, estas tres dimensiones deben estar entrelazadas entre sí como se muestra en la figura 2.1.

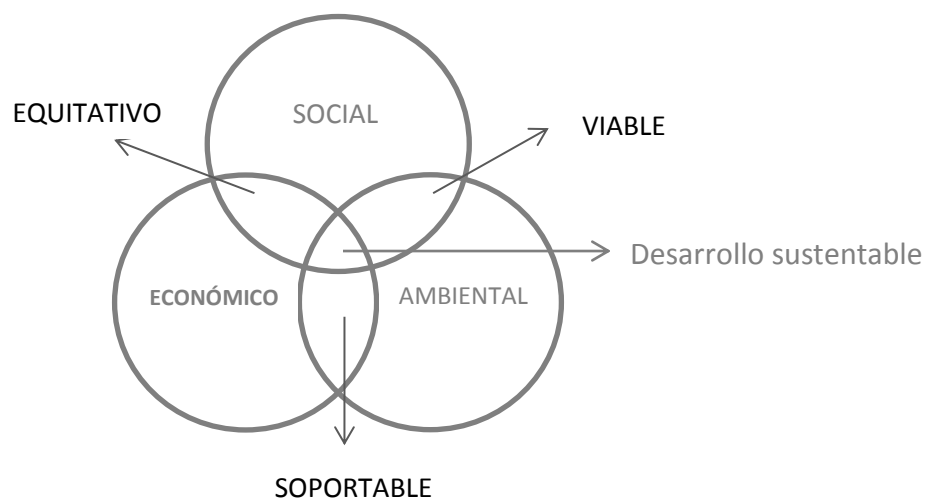


Ilustración 3. Dimensiones del Desarrollo Sustentable.
Fuente: (McDonough&Braungart, 2002)

Le antecede la Declaración de Estocolmo¹ que *“Atenta a la necesidad de un criterio y unos principios comunes que ofrezcan a los pueblos del mundo inspiración y guía para preservar y mejorar el medio humano”* (ONU, 1972).

2.1.1. La sustentabilidad y vivienda

El nuevo paradigma de la sustentabilidad aplicado en la vivienda del municipio de García.

El nuevo modelo de desarrollo sustentable, surge de la gran necesidad de cambiar el paradigma del modelo económico capitalista, ya que éste, al conformarse por una estructura de crecimiento lineal insostenible (Miller T. G., 1994), depreda los recursos naturales a velocidad sin precedentes, generando daños irreversibles al medio ambiente y causando fractura en el tejido social de la gran diversidad de culturas existentes en nuestro planeta (McDonough & Braungart, 2002).

Este paradigma del desarrollo sustentable surgido en las últimas 4 décadas pone en evidencia el fracaso del desarrollo económico actual ya que su estructura vertical no responde a la capacidad de regeneración de la tierra por tener recursos finitos o que se regeneran a un rango menor de lo que se extraen.

Este modelo de desarrollo es el que prevalece actualmente en los sistemas de gobierno de la gran mayoría de los países del mundo pertenecientes a la Organización Mundial del Comercio, el cual utiliza los recursos naturales como mercancías.

Del mismo modo las poblaciones humanas más vulnerables del planeta son vistas como productos con los que se puede especular debido a las nuevas formas de esclavitud actual disfrazadas por el vigente sistema operante (Chomsky, 2003).

¹Esta declaración exhorta por primera vez a los gobiernos de las naciones a adoptar las recomendaciones y principios que establece esta declaración, a que sean introducidos en el ordenamiento jurídico de cada gobierno. Proclama que existe “Una sola tierra” y determina el 5 de junio como el día mundial del medio ambiente.

Dentro de esta visión antropocéntrica, muchos gobiernos consideran a la naturaleza como capital, y se refieren a ello como “capital natural” que es el modo de contabilizar recursos naturales y poder medirlos en términos económicos, expresado a través de acciones de valores, oro y divisas (Edwards, 2008).

Este método de contabilidad, reconoce la validez de todos los sistemas medioambientales y ecológicos e intenta cuantificar el valor de todos los ecosistemas naturales, la tierra, el agua y el aire. Es un modelo utilizado para medir y asignar valor a la biodiversidad.

Es esta la forma en que los países miden su riqueza y su rendimiento económico, dejando de lado la verdadera importancia del valor natural, cultural y la interacción entre ellos.

Con este antecedente, el paradigma de crecimiento sustentable, viene a demostrar y poner en evidencia las malas prácticas del desarrollo y las formas de violencia implícita del aun modelo actual de desarrollo y crecimiento económico global.

Una de las formas de violencia contra los recursos naturales y derecho a la habitabilidad digna, es el de la técnica de construcción ampliamente utilizada en la actualidad para la creación de viviendas.

Actualmente el crecimiento demográfico del municipio de García, ha generado emprendimientos inmobiliarios en donde no se toma en cuenta la verdadera vocación de la vivienda. Se le ha dado más importancia a la producción masiva de la estandarización de bienes y servicios con fines comerciales (Guerrero, 1994).

La problemática persiste dada la desconexión propiciada por el mercado inmobiliario la cual no toma en cuenta que la vivienda es un objeto que esta intrínsecamente ligada al individuo, es aquí donde emerge una actividad prioritaria del hombre pues a través de ella resuelve sus necesidades primarias de protección defensa, bienestar y desarrollo, lo que permite en el mejor de los casos fomentar el tejido social (Flores A. , 2008).

Contexto de la región desértica

En el municipio de García, desde el casco histórico hasta el poblado de Icamole², aún se conservan algunas edificaciones de tierra que se yerguen en el desierto. Sin embargo, la mancha urbana que se va extendiendo en dirección de estas zonas semidesérticas, trae consigo propuestas de arquitectura que no responden a las exigencias de la zona debido a las altas temperaturas que pueden rebasar los 40°C y por ser una zona donde escasea el agua.

Por tal razón, desde la perspectiva de la vivienda, el paradigma de sustentabilidad apoya, fortalece e impulsa de manera firme a la arquitectura de tierra, por ser un material nativo de la región del semidesierto de García, y por ser un material más eficiente que las edificaciones de block basados en cemento portland, en términos bioclimáticos (Guerrero, Soria, & Garcia, Comportamiento bioclimático de un módulo experimental construido con tierra vertida compactada en la Ciudad de México, 2015).



Ilustración 4. Vista satelital de la mancha urbana del municipio de Monterrey con respecto del municipio de García y la ruta a Icamole. Fuente: Mapas del buscador Google

²Este poblado fue escena de la batalla de Icamole en 1876, está situado a 20 kilómetros de García. Este lugar es el antiguo casco de una viaja hacienda establecida en el siglo XVIII.

Por otro lado, es importante tomar en cuenta que las poblaciones urbana al ejercer gran presión sobre el suelo edificable, el agua, en las energías disponibles y también en el tratamiento de aguas negras y residuos, son una amenaza potencial para los ecosistemas desérticos; solo en el año 2000 la población urbana en el mundo, superó a la población rural, lo cual agrava los problemas urbanos tales como la contaminación, la falta de espacio y la presión sobre los recursos naturales (Edwards, 2008),

Este fenómeno de la expansión de la cultura urbana sobre la rural, es la causante del consumo exponencial de recursos y generación de más residuos que son complejos de manejar y es incuestionable que el medioambiente soporta cada vez menos la presión de este modelo de crecimiento.

Ante este panorama, la otra problemática es la evidente desconexión de la arquitectura urbana sobre su entorno natural desértico; si se comparan los dos tipos de arquitectura en las ilustraciones 5 y 6, es claro que la arquitectura tradicional o vernácula es la que se integra de forma inteligente y sofisticada dentro del marco del entorno natural de la región, dejando en evidencia una vez más la cuestionable concepción de progreso y civilización de la cultura urbana.



Ilustración 5. Vista de los fraccionamientos inmobiliarios en la ruta de García hacia Icamole. Fuente: Mapas del buscador Google 2014.

El municipio de García forma parte de la inmensa extensión que tienen los desiertos mexicanos conformado por nueve estados; Baja California Norte, Baja California Sur, Durango, Nuevo León, Chihuahua, San Luis Potosí, Sonora y Zacatecas. Los recursos que abundan en estas regiones desérticas son reservas de tierra que han permitido que las construcciones anteriores a la modernización fueran hechas de este material.

En general las antiguas construcciones que en García se edificaron, están elaboradas con la técnica del adobe, sin embargo esta práctica se perdió debido a la falta de elementos como el aglutinante que proporcionaban las hiervas al mezclarse con la tierra húmeda, la cual provenía del pastoreo que existía en la zona antes de la llegada del cemento.

Aunado a eso, con la llegada de la industria del concreto, se intensificó el uso del block en ese material para construir la siguiente generación de viviendas, en las cuales no se atiende la demanda de una vivienda habitable en esta zona debido a su pésimo desempeño durante su fase de vida útil y sus prácticas agresivas con el ambiente durante su proceso de elaboración (Steele, 1997).



Ilustración 6. Vista de las casas de adobe en el poblado de Icamole. Fuente: Mapas del buscador Google 2014.

Con estos antecedentes se puede establecer que la arquitectura de tierra es sustentable por varias razones:

1. Su razón de ser fundamentalmente es la utilidad y servicio a las actividades humanas, entendiéndose a la utilidad como resguardo y confort; esta arquitectura al estar enraizada en la naturaleza busca la utilización racional de los materiales locales por ser accesibles, de manera que consecuentemente, estas construcciones están plenamente integradas al contexto geográfico.
2. La facilidad que posee las construcciones de tierra ya que pueden ser realizadas, restauradas y modificadas por los propios usuarios, van creciendo y adaptándose de manera orgánica a las cambiantes condiciones de las familias, sin alterar el entorno natural (Guerrero, 1994).
3. La eficacia de estos sistemas constructivos de tierra que ofrecen economía de materiales, confort térmico y cuidado del entorno natural. características que se integran de forma directa a las estrategias del diseño sustentable (Eyrin, 1992).

Por tales motivos, la técnica TVC pudiera ser un sistema sustentable de autoconstrucción, ya que sigue a la naturaleza como guía de proyecto de edificación, y alcanza una lógica natural en combinación con la ecología y la tecnología en donde estos sistemas adquieren mayor complejidad y belleza a medida que la escala aumenta por ser sistemas que se ven obligados a mimetizarse con su entorno natural.

Así mismo, al igual que la naturaleza, la autoconstrucción en la arquitectura de tierra, no sólo recicla, sino rechaza la repetición, clonación y la búsqueda absurda de la duplicación perfecta, (Edwards, 2008).

En esta arquitectura, al igual que pasa con los sistemas naturales, no se desperdician recursos, pues todos los materiales que en ésta se utilizan son reutilizables, reciclables o biodegradables; la misma manera, es la forma elegante en la

|

que la naturaleza resuelve el manejo de sus “desechos” que se reintegran a su ciclo de vida.

2.1.2 Ciclo de vida: análisis de las estrategias de eco diseño para la edificación de vivienda en TVC.

La vivienda en sus diversos contextos, permite y propicia su comprensión total ya que se relaciona con el hombre y las actividades que se generan a partir del objeto casa desde la perspectiva de un producto consumible (Flores A., 2014).

Desde esta lógica, la gran mayoría de los productos generan impactos en el ambiente durante alguna de las fases de su producción, vida útil o en todo el proceso. Sin embargo muchos de ellos no contemplan el costo ambiental que producen al ser elaborados y utilizados.

El ciclo de vida del producto es un método global y completo para la creación de productos y servicios el cual parte de tres aspectos básicos que se fundamentan en el desarrollo sustentable, pues establece que sean sistemas no perjudiciales para el ambiente, socialmente equitativos y económicamente viables.

Para alcanzar este nuevo modelo de crecimiento dentro del área del diseño de productos y servicios, esta metodología analiza todas sus etapas de cadena de suministros y de producción, desde la extracción, transformación y elaboración del mismo, que determinan las etapas consecutivas e interrelacionadas dentro de sistema del producto, la adquisición de materia prima o de su generación a partir de recursos naturales, hasta su disposición final (Eyrin, 1992).

Este ciclo permite conocer las etapas de los procesos para de esta manera determinar las estrategias que se puedan implementar en cada una de ellas y reducir el impacto que se generan durante las diferentes fases de la elaboración y desempeño del producto.

Esta metodología surge a partir del concepto del “diseño verde” o “Green Design”³, donde se considera la reducción de impacto ambiental estableciendo el ciclo de vida del producto desde la fase extractiva y su disposición final.



Ilustración 7. Cuadro comparativo del diseño verde. Fuente: (Eyrin, 1992)

En términos de desarrollo de producto⁴, las dos metas importantes son la competitividad en la calidad del desempeño del producto y la protección al ambiente. La protección del ambiente que se genera dentro de las fases del ciclo de vida, generalmente también contribuyen a la reducción de costos y mejora la calidad del objeto y conservación del entorno natural ya que frecuentemente se generan menos desechos y contaminación.

Sus metas principales son reducir los desechos asociados con los sistemas de producción y su objetivo principal es acabar con los impactos ambientales y los riesgos de salud generado por el desarrollo y uso de productos, ya que no podría

³ Durante las décadas de 1970 y 1980 surge la tendencia de diseñar para la re manufactura y el reciclaje, los diseños comienzan a ser relevantes desde cada etapa de su proceso y se evidencia que el diseño de producto es la etapa en donde la toman de decisiones determinan las características del flujo de desecho. (Eyrin, 1992)

⁴ El diseño de producto es el proceso de síntesis en donde los atributos tales como costo, desempeño, manufactura seguridad e identidad convergen, (Eyrin, 1992). Actualmente la tendencia hacia el atributo de la protección al ambiente está tomando más importancia.

existir el desarrollo de productos y la actividad económica sin los recursos disponibles para ello.

Por tal razón esta estrategia busca diseños eficientes que aseguren la conservación de los recursos, de esta forma el impacto causado por la extracción del material y las actividades asociadas en el ciclo de vida son reducidas (Keoleian & Menery, 1993).

Para que estas metas sean factibles, esta estrategia de “el ciclo de vida del producto” a su vez se apoya en otras estrategias, como

- Conservación de recursos
- Prevención de la contaminación
- Equidad ambiental
- Preservación de la biodiversidad y ecosistemas (ecosistemas sustentables)
- Mantenimiento a largo plazo de los sistemas económicos

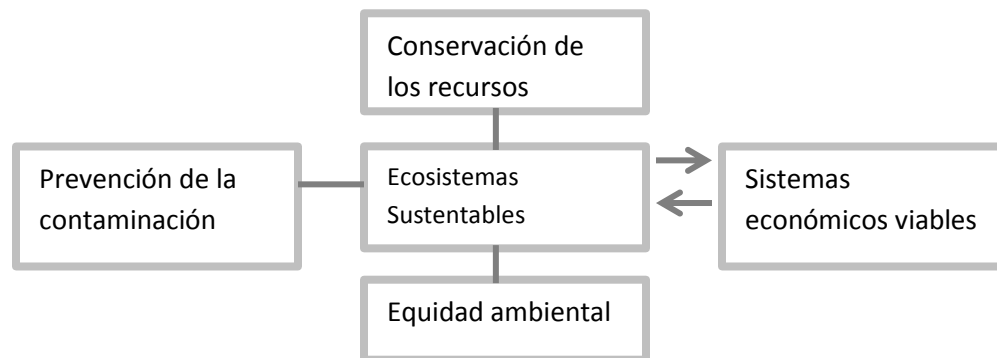


Ilustración 8. Diagrama de sistemas retroactivos. Fuente: (Keoleian & Menery, 1993)

Dentro de este marco, la investigación se interesa en analizar el proceso del ciclo de la técnica de TVC y del block de concreto de manera general para poder establecer una comparación parcial de las fases de del ciclo de vida de ambas

técnicas e identificar las etapas críticas en donde se generen impactos al ambiente en el consumo de recursos y con estos datos mejorar la técnica de TVC.

Para ello se requiere de una metodología de “análisis del ciclo de vida” que permita cuantificar el coste ambiental de la producción; la intención es retomar esta estrategia de medición para aplicarla al ciclo de utilización de los recursos hídricos en esta investigación.

Por estas razones, la técnica de TVC, podría cumplir con las estrategias que propone el eco diseño que se muestra en la tabla 2.1, ya que a diferencia del proceso de elaboración del block de concreto, el ciclo de vida de la técnica de TVC al estar constituido principalmente de tierra y los bloques son elaborados en sitio, no requiere de un proceso industrializado.

Por otro lado, la técnica de TVC, al ser un sistema de autoconstrucción, el agua que se utiliza puede ser controlada por medio de dosificaciones propuestas, reduciendo así, su huella hídrica.

Fase	Estrategia
Extracción	Selección de materiales de bajo impacto: <ul style="list-style-type: none">• Materiales más limpios• Materiales renovables• Materiales de bajo contenido energético• Materiales reciclables• Materiales locales
Transporte	Reducción de uso de materiales

Transformación Producción	<p>Técnicas de producción alternativas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reducción del número de procesos productivos • Consumo de energía reducido y limpio • Reducción de residuos • Reducción en consumo de combustibles
Uso	<p>Reducción del impacto ambiental durante el uso</p> <ul style="list-style-type: none"> • Asegurar un bajo consumo energético
Descarte	<p>Optimización de la vida útil del producto</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alta fiabilidad y durabilidad • Fácil mantenimiento y reparación • Desarrollo de productos modulares y adaptables (técnica de tierra vertida compactada) • Fortalecer relación Producto – Usuario (autoconstrucción)
Desecho Disposición final	<p>Optimización de fin de vida del producto</p> <ul style="list-style-type: none"> • Favorecer la reutilización, re-fabricación o reacondicionamiento. • Favorecer el reciclaje • Eliminación productiva o segura (que regrese a la tierra)

Tabla 2.1 Fases y estrategias generales del ciclo de vida, las cuales pueden variar dependiendo del producto o diseño a analizar. Fuente: (Keoleian & Menery, 1993)

Estas estrategias son de gran utilidad para poder evaluar el desempeño de la técnica de TVC y block de cemento. Esta herramienta permite que se puedan obtener

datos cuantificables para comparar las técnicas y tener una mejor comprensión de la importancia y el beneficio que ofrecen las construcciones en TVC.

Por otro lado, con esta estrategia del ciclo de vida del producto, se puede visualizar de manera general que los materiales utilizados en la técnica de TVC son benignos, ya que el costo en obtener la tierra no se considera por ser la que se utiliza en el lugar de emplazamiento.

Huella de carbono

Es un parámetro o indicador que describe la cantidad de emisión de gases efecto invernadero (“GEI”), ya sean dióxido de carbono o cualquier otro gas que son liberados al ambiente y que contribuyen a acelerar el calentamiento global (Wiedmann & Minx, 2007).

Estos gases están asociados con las actividades ya sea individuales, poblacionales, gubernamentales, corporativas, industriales, aquellos productos y servicios que producen de forma directa o indirecta estas emisiones, y se expresa en toneladas de CO₂.

Los tipos de emisiones se pueden reconocer en dos sectores, uno sujeto al protocolo de Kioto, que aplica para las actividades mineras, industriales e involucra a gobiernos y corporaciones y todas aquellas actividades relacionadas con el comercio y explotación de recursos y la segunda se refiere a los sectores difusos que no pueden cuantificarse por ser de tipo residencia, o institucional, el agrario, el transporte y residuos (Keoleian & Menery, 1993).

Este indicador surge de la necesidad de analizar y dar solución a la creciente amenaza del calentamiento global generado por las industrias extractivas y de suministro, como es el caso de la industria minera para la elaboración de cemento.

Para sustentar esta investigación, se pone en evidencia las malas prácticas de la explotación y uso de las materias primas para la elaboración del concreto y sus derivados, ya que estos provienen de fuentes naturales no renovables que son los cerros (Miller G. T., 1992).

En la zona metropolitana del municipio de Monterrey y parte del municipio de García y Santa Catarina se ubica el Cerro de las Mitras, el cual pertenece a una cadena de montañas llamado Valle de Extremadura donde se asienta el área metropolitana de Monterrey, se encuentran clasificadas como áreas protegidas según datos de la SEMARNAT.

Sin embargo estas montañas han sido sobreexplotados debido a la industria cementera proveedora de los materiales constructivos industrializados; según datos del Instituto de la Calidad del Aire se detectó que Monterrey es la ciudad de América Latina con el aire más sucio en las mediciones de partículas suspendidas menores a 10 micras (PM10), ya que en el año 2011 se registró un promedio de 85.9 microgramos, cuando la recomendación de la Organización Mundial de la Salud es de un límite de 20 microgramos (Congreso del estado de Nuevo Leon, 2013).

Desde este contexto y a través de la perspectiva del eco diseño se puede establecer que el diseño es la etapa crucial que determina la competitividad de un producto en términos de conservación ambiental, en todas las fases de su producción.

Por lo que para los fines de esta investigación se toma en cuenta el indicador de la huella de carbono y la huella hídrica que generan las construcciones, con el fin de obtener un parámetro de referencia y hacer un análisis comparativo sobre la eficiencia en términos de uso de recursos que pudiera ofrecer la técnica de TVC con respecto del uso del block de concreto.

Por tal razón, se pueden formular las siguientes preguntas para abordar el ciclo de vida de las técnicas mencionadas:

- ¿Hasta qué punto el procesamiento y el tratamiento son ambientalmente benignos?
- ¿Qué energías se necesita para extraer y procesar este material?
- ¿Existe un material que cueste lo mismo?
- ¿Existe algún material nuevo que sea resistente hasta el punto de poder utilizar una cantidad menor para producir una pieza con la misma durabilidad?
- ¿Cuáles son los impactos en el ambiente, los residuos sólidos que generan los desechos y su descomposición?
- ¿Se pueden diseñar sistemas constructivos para evadir el desperdicio y la cantidad de desechos?
- ¿Todas las personas implicadas se beneficiaran?

Cambiar los paradigmas en el proceso de diseño provee nuevas oportunidades de integrar las preocupaciones ambientales dentro del desarrollo del proceso de diseño de producto.

2.1.3 Metodología del eco diseño aplicada a la TVC.

Esta metodología compila un inventario de entradas y salidas sistémicas que contempla todos los procesos dentro de los procedimientos para la obtención de la producción de objetos de consumo ya sea primario o para usuario final.

En el caso de los dos objetos que en esta investigación se abordan como lo es el del block de concreto y el sistema de TVC, se van evaluando los impactos ambientales potenciales asociados a estas entradas y salidas del ciclo de vida de estos dos productos de construcción.

De esta manera los resultados pudieran ser interpretados en cada una de sus fases y poder identificar las etapas en las que se genera mayor impacto ambiental y utilización de recursos.

A partir del ciclo de vida se puede identificar los factores que generan mayor emisión de gases efecto invernadero, o utilización de recursos, (materia prima, agua, energía), estos factores son las diversas variables F que son los factores en la fórmula para calcular los GEI que se suman a las emisiones que generan los gases.

Es decir, en el caso de los sistemas constructivos de tierra, se puede establecer que para realizar el cálculo de la huella de carbono el factor $F1$ puede ser la energía usada para extraer la tierra (por metro cúbico por ejemplo), el factor $F2$ la cantidad de energía que se utiliza para su transformación (incluyendo agua, estabilizadores y otros materiales externos), el factor $F3$ la cantidad de metros cuadrados construidos, etc. (Valderrama, 2011).

Desde esta perspectiva, es importante esclarecer el impacto causado por la actividad humana en donde la responsabilidad recae en el proceso del desarrollo del producto ya que las consecuencias de extracción de recursos y todas las fases del ciclo de vida pueden ser severas e irreversibles.

En caso de la industria del concreto, al ser el material mayormente utilizado en la zona de estudio, se elaboró un esquema del ciclo de vida con el fin de tener una referencia gráfica y destacar las ventajas del uso de la tierra.

Tal como se observa en la ilustración 10 que corresponde al cerro de las Mitras; la fase inicial para adquirir la materia prima del concreto es a través de la industria extractiva minera a cielo abierto en las reservas de los cerros, donde se generan gran cantidad de emisiones de gases GEI⁵ debido a la forma de extraer este material, no sólo por el combustible que se requiere para la utilización de la maquinaria, sino también las macropartículas de polvo que contaminan el aire (SEMARNAT, 2012).

⁵El aire que respiramos está compuesto en su estado natural por 78% de nitrógeno, 21% de oxígeno, y el 1% está compuesto de dióxido de carbono, argón, neón, helio, hidrogeno y vapor de agua. Cualquier desbalance en esta proporción, genera una alteración en el aire, causando la contaminación atmosférica. Los contaminantes más comunes son las partículas suspendidas (PM), ozono (O_3), dióxido de nitrógeno (NO_2), dióxido de azufre (SO_2), y monóxido de carbono (CO) según la Organización Mundial de la Salud.

El esquema de la ilustración 9 muestra cómo se realiza una interpretación a partir de las fases del ciclo de vida de un producto.

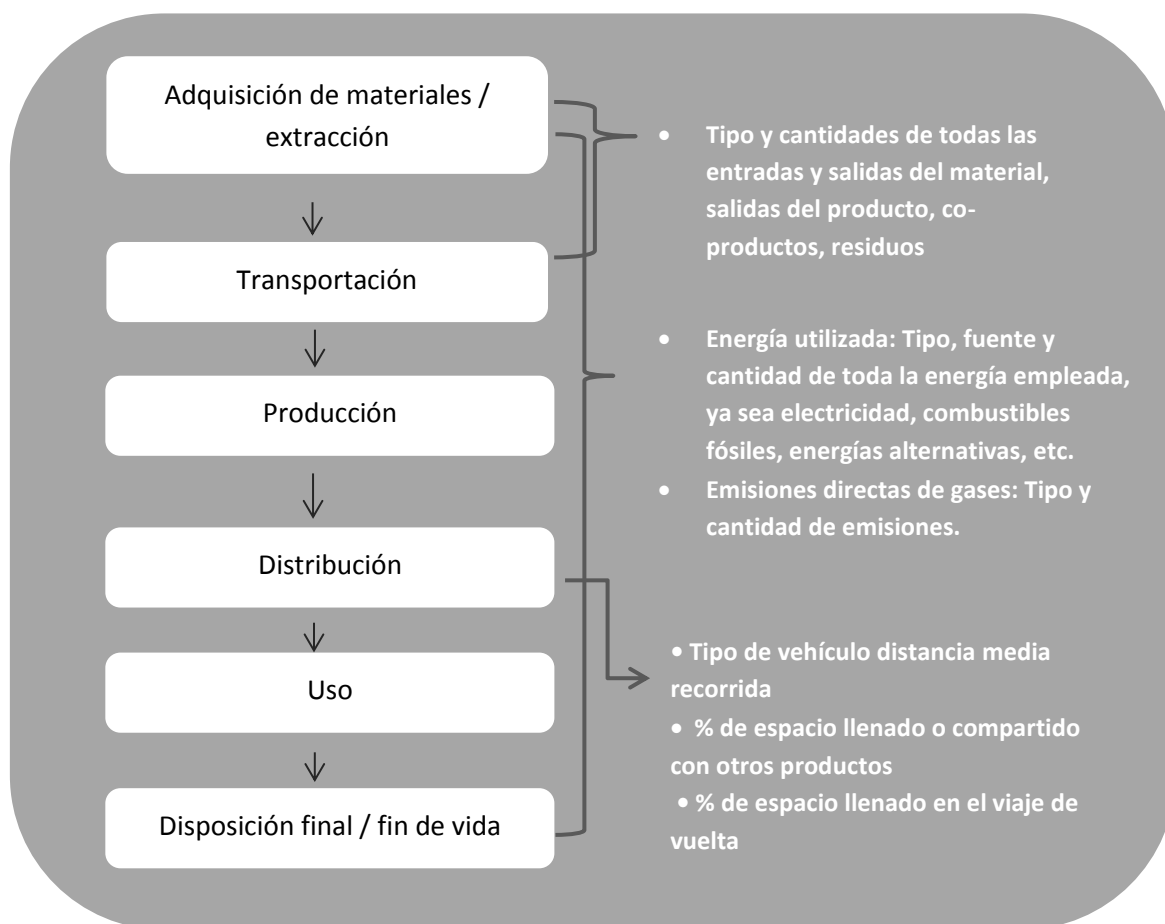


Ilustración 9. Interpretación sistemática de las fases del ciclo de vida de un producto. Fuente: (Keoleian & Menery, 1993)

Dado que la arquitectura ecológica hace hincapié en la reducción de utilización de energía y cuidado de los recursos naturales que plantea la sostenibilidad, con la ayuda de las estrategias de esta metodología se pretende ofrecer herramientas que ayuden establecer las bases comparativas en términos ambientales para el ahorro de costos y reducción de riesgos medioambientales que ofrece la técnica de TVC.



Ilustración 10 Minería a cielo abierto a espaldas del parque ecológico “Sierra de las Mitras” en el municipio García. Fuente: Periódico El Horizonte

De tal manera que estas estrategias podrían contribuir a fomentar el uso de la técnica de tierra vertida compactada en esta zona de García, ya que esta arquitectura es de bajo consumo energético y de gran calidad por su lógica de construcción.

En el esquema de la ilustración 11, se muestran las etapas del ciclo del block de concreto en donde se observa que al final de su ciclo de vida no regresa a su estado natural, también es evidencia que en la mayoría de sus fases generan emisiones de CO₂.

En la misma ilustración se tiene la relación del ciclo de vida de los sistemas constructivos donde se observa de manera parcial que la producción de cemento tiene un intenso consumo de consumo energético y de recursos de cadena de suministros.

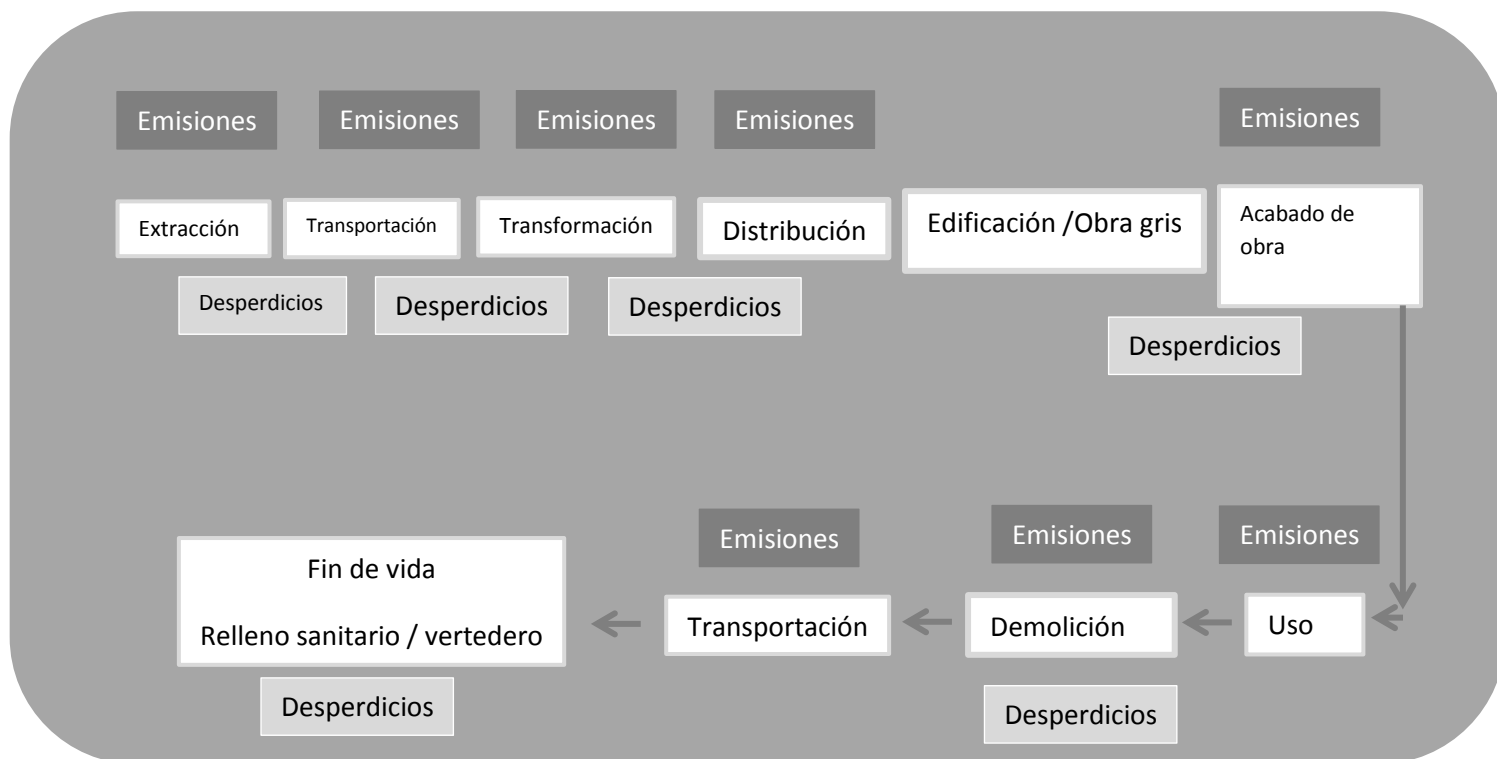


Ilustración 11. Proceso lineal del ciclo del block de concreto. Fuente: (Eyrin, 1992)

Para los fines de este estudio solo se toma en cuenta el diagrama de ciclo de vida de ambas técnicas para poner en evidencia las etapas críticas del uso del block de concreto y como panorama general, para abordar los datos cuantitativos con respecto del uso de recursos hídricos en la técnica de TVC, el cual se abordara en los capítulos siguientes.

El objetivo de esta comparación es identificar las cadenas de suministro y de producción con alto consumo de recursos para abordar estrategias con la técnica de TVC que mitiguen los impactos negativos y uso desmedido de los recursos que integran el ciclo de vida del concreto e identificar en estas fases la huella hídrica para es sustentar el uso de la técnica de TVC.

Con estas observaciones se pudiera establecer que la tierra al ser un material el cual se puede extraer de forma manual, no necesita combustión fósil, y durante su

transformación, no requiere de procesos contaminantes ya que tiene la facilidad llevarse a cabo de forma artesanal o semi industrializada.

2.2 Vivienda de tierra

2.2.1 La tierra como material de construcción

La arquitectura de tierra surge de la experimentación en diversas regiones del mundo, la tierra ha sido el material de construcción por excelencia; siglos de observación y gracias a sus procesos empíricos se establecieron las prácticas más adecuadas para su desarrollo e implementación.

En consecuencia, la tierra como material de construcción está íntimamente ligado a la arquitectura vernácula, dado que la tierra es un material regional y al igual que los demás materiales locales, estos son manejados de manera tradicional.

El uso de los mismos evita caer en el abuso o explotación indiscriminada, lo cual ayuda a que una vez terminada su vida útil se reintegren al medio natural.

Esta arquitectura sustentable, a su vez permite al usuario la autoconstrucción, estrategia que contribuye a la economía familiar y entorno natural ya que se genera una relación de respeto hacia la naturaleza que se traduce en el mantenimiento y conservación de los recursos naturales que genera mejor calidad de vida (Del Roble, 1999).

Este tipo de construcción muestra una conexión íntima entre diseño y desarrollo sustentable en países de todo el mundo y declara que la nueva arquitectura sustentable hecha de tierra, cumple con las necesidades presentes sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras

Existe en todos los continentes y es de esperarse que tengan variaciones ya que cada arquitectura responde a las necesidades climáticas de las diferentes regiones, por tal razón surgen diferentes técnicas.

La tierra

En los sistemas constructivos de tierra hay que explorar la composición de la misma. La tierra se utiliza de diversas maneras según la técnica de construcción, y las características varían con respecto de las necesidades.

Dentro de este marco, es importante subrayar que la tierra es material disponible en el suelo, se forma a partir de la erosión de las rocas, está integrada por una mezcla de arcilla, arena y limo, algunas veces contiene agregados de grava y piedra, esto responde a las medidas del diámetro de las partículas de la tierra.

Cada una de estas partículas tiene función diferente, en el caso de la arcilla al ser un grano muy fino, inferior a 2 μm , cumple con una función de aglutinante que cuando se mezcla con agua en la cantidad adecuada se convierte en una pasta plástica.



Formación del cordón, hasta que se fracture con 3 mm de diámetro pero se mantiene la arcilla unida.
Ejemplo de una tierra arcillosa.
(Martins, Faria, Rotondaro, & Cevallos Patricio, 2009)

Ilustración 12. Test del cordón. Fuente: Mayra Rendón

En cuanto a la arena y el limo, cumple como material estructural, ya que por ser de mayor tamaño no posee características adherentes.



Formación del cordón con una tierra muy arenosa, se fractura el cordón y se desprende la arena. (Martins, Faria, Rotondaro, & Cevallos Patricio, 2009)

Ilustración 13. Test del cordón. Fuente: Mayra Rendón

Esta propiedad es consecuencia de sus características estructurales por pertenecer a la familia de los filosilicatos⁶ que estos a su vez se derivan de los silicatos siendo éstos el grupo de mayor abundancia en la corteza terrestre con un 95% de su constitución.

La tierra como material de construcción, cuenta con propiedades físicas proporcionadas por el tamaño del grano, de las cuales se derivan sus diversos usos; también la cantidad de agua que se agrega va a definir el tipo de técnica que se planea realizar, pues el agua activa la adherencia de la tierra.

La porosidad en el sistema constructivo es otra característica que se toma en cuenta en la arquitectura de tierra, esto debido a que a mayor porosidad, mayor es el desempeño térmico, ya que el aire atrapado, es el mejor aislante (Minke G. , 2000).

Otra propiedad de los sistemas constructivos de tierra es la densidad del suelo, esto se genera en el momento de compactación, esta característica es propia de algunas técnicas que requieren compactación como el caso de la tierra vertida debido a la compactación es como se genera su estructura portante y aislamiento térmico para este sistema en particular.

La compactibilidad es otra propiedad de la tierra la cual permite que a la tierra usarse como material de construcción para reducir su volumen y aumentar sus propiedades estructurales.

Estas características mencionadas aplican para las diferentes técnicas de tierra que existen y que se siguen desarrollando, en distintos lugares del mundo.

En esta investigación se explorará la técnica de TVC por ser el sistema constructivo que mejor pudiera adaptarse a esta zona del semidesierto por contar con

⁶Los filosilicatos son una subclase de los silicatos que incluye minerales, presenta un rasgo común de formas escamosas y de estructura en capas con forma de tetraedros que permite su adherencia (Minke G. , 2000).

el menor número de elementos en comparación de otras técnicas de tierra, tales como el adobe⁷ como se muestra en la ilustración 14 y bahareque⁸.



Ilustración 14. Construcción de adobe. Fuente: Mayra Rendón

Sin embargo cabe mencionar que ambas técnicas tienen su propia lógica de trabajar con la tierra; resalta diferentes características del material constructivo por lo que se aprovechan características diferentes en base a cumplir con necesidades y requerimientos específicos que responden a la zona de emplazamiento o compatibilidad con otros materiales distintos a la tierra como las plantas gramíneas y aditivos de fibras naturales como en el caso de las técnicas ya mencionadas.

La región que comprende el casco histórico del municipio de García hasta el poblado de Icamole, está conformada por extensos yacimientos de tierra gracias, y a la

⁷ El adobe es el bloque de tierra con compuestos de fibras orgánicas que servían para aglutinar y reforzar el bloque. Esta técnica fue muy utilizada en la zona de García cuando se producía ganado. Hoy en día esta práctica se perdió debido a la falta de elementos para elaborarlo y la introducción de materiales industrializados.

⁸ El bahareque es una técnica de construcción con tierra en forma de paneles con entretejido de varas de plantas gramíneas a las que se le añade tierra para recubrir que suelen darse en zonas húmedas, esta técnica se ha desarrollado principalmente en zonas sísmicas, su tecnología permite absorber los movimientos tectónicos. (Carazas, 2014)

geografía semidesértica, la tierra es visible lo que la hace de fácil acceso para su utilización en la construcción con tierra.

El paisaje que presenta el semidesierto es de sierras y piedemontes en donde se encuentra el sustrato pedregoso en ellos el agua de escorrentía se acumula entre las piedras, donde el suelo de textura más fina absorbe rápidamente la poca agua que cae con las lluvias, este proceso es el que da lugar al material que se utilizara en la construcción, (Ezcurra, 1992).

En general los desiertos muestran un comportamiento opuesto a de las regiones más húmedas, pues las partes topográficamente más bajas contienen suelos más arcillosos lo que permite que se capte más humedad y contribuye a la abundancia de tierra como recurso para la construcción.

Por tal motivo la mayor cantidad de edificaciones antiguas que se encuentran en la zona, están elaboradas con tierra utilizando la técnica del adobe.

Muestras de suelo arcilloso del municipio de García

En esta investigación se propone la técnica de TVC ya que al contener el principio constructivo del tapial ésta cuenta con el mínimo de componentes para la edificación de muros por lo tanto responde de manera más eficiente a las condiciones geográficas del desierto de García. Comprende como materia prima, la tierra del lugar de emplazamiento, agua, y estabilizantes naturales.

Para este tipo de construcciones habitualmente se utiliza aquella que se encuentra en el subsuelo debido a que está libre de materia orgánica sin embargo, en las zonas semiáridas y áridas es posible encontrar suelos adecuados en la superficie, por lo tanto, en García la técnica de TVC, sería la ideal para llevar a cabo.

Otro aspecto importante para la edificación de muros de TVC es conocer las proporciones adecuadas de composición de tierra y los estabilizantes⁹ así como la compactación la cual proporciona la estructura rígida a los bloques que conforman los muros.

En el municipio de García, el lugar de donde se extrajo la muestra, es un 'ancón' o pared hecha por la erosión en el Río Pesquería (ancón es la palabra que usaban los antiguos para referirse a esa parte del río y la ves en la viejas escrituras) este rio pasa por los límites del casco histórico y se encontró que aún se extrae tierra de este lugar como se observa en las ilustraciones 15 y 16.



Ilustración 15. Banco de tierra en el río Pesquería ubicado en los límites del municipio de García. Fuente: Mayra Rendón.

⁹ La estabilización del suelo cambia considerablemente las características del mismo, produciendo resistencia y estabilidad a largo plazo, en forma permanente, en particular en lo que concierne a la acción del agua (National Lime Association, 2006)



Ilustración 16. Extracción manual de los bancos de tierra en las orillas del río Pesquería que rodea el casco histórico del municipio de García. Fuente: Mayra Rendón.

Suelos para la construcción con tierra: características y propiedades.

En las construcciones con tierra en donde se emplea el suelo como la principal materia prima, éste recibe el nombre de tierra cruda que se refiere a que es una tierra para construir ya que existen otros conceptos en términos de ingeniería de materiales en donde se utiliza el término suelo cal y suelo estabilizado¹⁰. (Martins, Faria, Rotondaro, & Cevallos Patricio, 2009)

El suelo es una mezcla de partículas de roca o mineral, agua y aire, y sus propiedades difieren de una zona a otra, se trata de una masa de partículas unidas por fuerzas cohesivas de poca potencia por que pueden contrarrestarse por una acción mecánica.

La formación de los suelos se genera a partir de la descomposición de la roca madre, se puede diferenciar grandes rasgos de la erosión o degradación que a su vez puede ser física como también química. Dentro de estas acciones se sabe que la

¹⁰ La estabilización del suelo cambia considerablemente las características del mismo, produciendo resistencia y estabilidad a largo plazo, en forma permanente, en particular en lo que concierne a la acción del agua (National Lime Association, 2006)

primera solamente dará como productor granos de gravas arenas o limos, ya que para las arcillas se requiere de transformaciones químicas.

Los suelos pueden estudiarse a partir de sus distintas clasificaciones: según su granulometría o textura, plasticidad, que se refiere a la habilidad de la tierra de presentar deformación y compactación.

Para la construcción con tierra normalmente se utiliza aquella que se encuentra en el subsuelo debido a que está libre de materia orgánica sin embargo, en las zonas semiáridas y áridas es posible encontrar suelos adecuados en la superficie, por lo tanto, en García la técnica de TVC, sería la más factible para llevar a cabo.

Textura del suelo

Todos los suelos tienen partículas de tamaño variable, que se refiere a que dentro de la parte sólida de los suelos hay partículas de distinto tamaño.

Esto conduce de inmediato al análisis de la composición granulométrica, es decir, qué clasificación de tamaño de granos existe dentro de una masa de suelo para ver si ese análisis tiene alguna significación en las propiedades del suelo.

El análisis granulométrico se realiza separando las partículas del suelo en rangos de tamaño a través de tamices de distintas dimensiones. Se refiere a la cantidad relativa expresada en porcentajes de grava, arena, limo y arcilla contenida en una porción de suelo.

Entonces, se tiene que en cuanto a las características granulométricas del suelo se pueden describir de la siguiente manera:

Partícula	Diámetro
Arcilla: Posee una fuerte cohesión, sin estabilidad volumétrica, se expande en la presencia del agua, presenta propiedades físicas y químicas variadas según su origen.	Menor a 0.002 mm 
Limo: Disminuye la resistencia del limo, tampoco presenta cohesión, es de menor tamaño que la arena.	Entre 0.002 y 0.06 mm 
Arena: Tiene una medida menor que la grava y se caracteriza por no presentar cohesión.	Entre 0.06 y 2 mm 
Grava: es el elemento de mayor tamaño, y	Mayor a 2mm


su propiedad es la resistencia.	
---------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

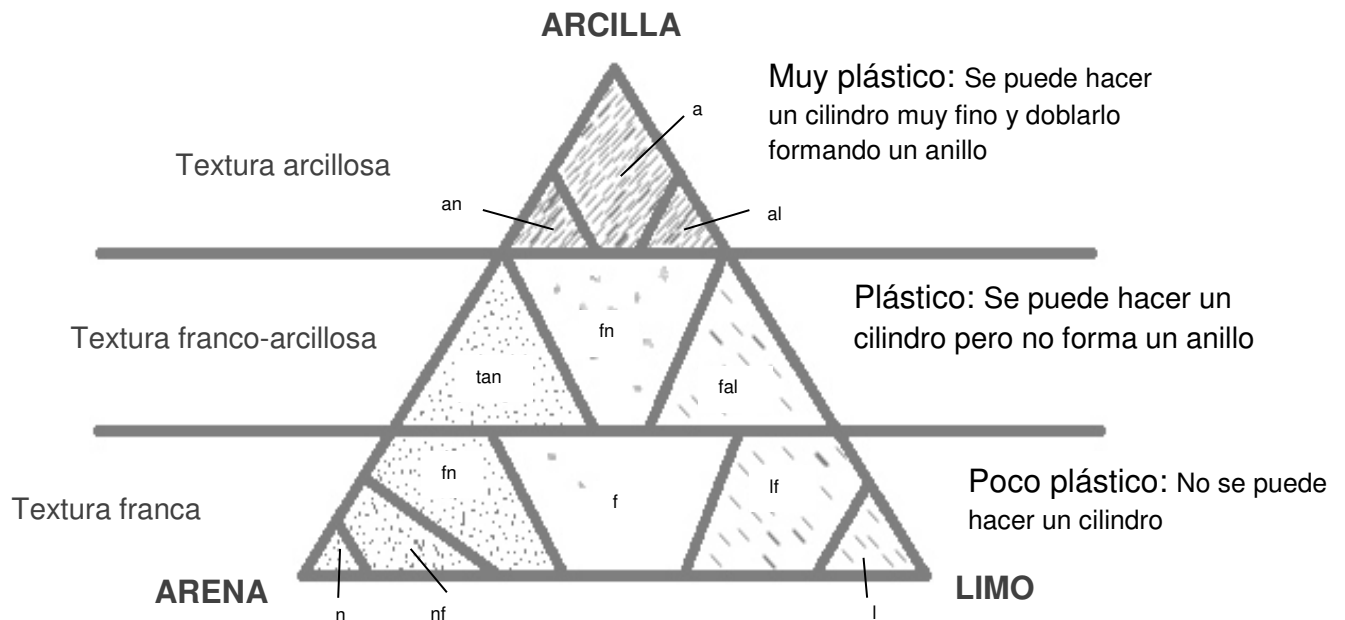
Tabla 1. Granulometría de suelos. Fuente: (Minke G. , 2000)

Con los datos anteriores se establece la clasificación textural mediante el triángulo textural que consiste en la desagregación de la parte mineral del suelo en varias fracciones separadas por diámetros de partículas y la determinación de la proporción relativa de cada una de esas fracciones.

El proceso de sedimentación tiene su basamento en la ley de Stokes¹¹ cuya ecuación establece la relación entre el diámetro de partículas y su velocidad de caída en medio.

¹¹ El procedimiento que se utiliza se basa en la ley de Stokes, quien analizó y expresó en fórmulas la velocidad de descenso de esferas depositadas en un medio líquido. Stokes demostró que esa velocidad es función, entre otros factores, del diámetro de la esfera, ese diámetro se determina por el tiempo transcurrido desde el instante en que se coloca en el recipiente. El procedimiento sólo es aproximado, entre otras cosas porque las partículas del suelo menores de 74 μ no son esféricas, no tienen forma redondeada, sino que son chatas como escamas, alargadas o tienen forma de disco.

Diagrama de Stokes



Clave de texturas: a= arcilla, n= arena, l = limo, Ejemplo: fal = fracnoarcillolimos

Ilustración 17 Grafico para la denominación de suelos según la textura
Fuente: (Aguero & Alvarado, 1983)

Plasticidad

La plasticidad del suelo sucede según el grado de humedad, puede ser líquido, plástico o sólido, y va variando según el tipo de suelo (grava arena limo o arcilla) y la cantidad de agua que contenga. Esta información es pertinente en este estudio ya que se busca utilizar el menor suministro de recursos hídricos en los sistemas de TVC a diseñar.

La plasticidad se refiere a que puede deformarse con cierta facilidad con un esfuerzo relativamente pequeño. Un material plástico requiere un cierto esfuerzo para deformarse en un valor determinado, pero a partir de allí, con un esfuerzo constante la deformación crece indefinidamente.

También puede definirse como plasticidad, la propiedad de un material por la cual es capaz de soportar deformaciones rápidas sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse o agrietarse. En cerámica o en las artes plásticas, un material plástico es un material que puede moldearse y, sobre todo en cerámica, es un material que puede amasarse.

El amasado consiste en producir una deformación del material que altera su forma pero no su volumen, conservando luego la nueva forma adquirida. El que un suelo en estado plástico ante un esfuerzo altere su forma pero no su volumen se debe a que dicho suelo en dicho estado está “saturado”.

Si se sigue agregando agua, ese suelo se hace cada vez más fácil de amasar, ofrece menor resistencia. Si se continúa agregando agua, llega un momento en que del estado plástico pasa al estado líquido o fluido, y entonces ya no se puede amasar con los dedos porque fluye entre los mismos.

Se analiza el comportamiento de suelos de distintas características en la forma descrita, se descubre que la cantidad de agua necesaria para pasar del estado sólido al estado plástico y del plástico al líquido, es distinta para los diferentes suelos, según su granulometría.

Esto permite ir agregando diferentes tipos de suelos para darle firmeza a la estructura del sistema de tierra con el que se quiera trabajar.

Estabilizantes

En las edificaciones con tierra, es indispensable agregar estabilizantes para que ésta mejore sus propiedades cuando no posee las características deseadas en función de una técnica en particular.

Los estabilizadores disponibles en la naturaleza son generalmente fibras naturales y excremento animal, cenizas de madera y piedra volcánica, zeolita, piedra

pómez; en cuanto a los estabilizadores manufacturados más comunes son la cal, la puzolana y polvo de ladrillo.

Cada estabilizador puede cumplir uno o dos de las siguientes funciones:

1. Incrementa la resistencia a la compresión y al impacto de la construcción de tierra, y también reduce su tendencia a la dilatación o contracción, aglomerando las partículas de suelo unas a otras.
2. Reduce o elimina completamente la absorción de agua (que causa dilataciones, contracciones y erosión) sellando todos los vacíos y poros, y cubriendo las partículas de arcilla con una película impermeable.
3. Reduce el agrietamiento dándole flexibilidad la cual permite que el suelo se expanda o contraiga en algún grado.
4. Reduce la expansión y contracción excesiva reforzando el suelo con material fibroso.

El efecto de la estabilización se incrementa generalmente cuando el suelo se compacta. Algunas veces la compactación sola es suficiente para estabilizar el suelo, sin embargo, sin un estabilizador apropiado, el efecto puede no ser permanente, particularmente en el caso de una mayor exposición al agua. (Stulz & Mukerji, 1983)

Compactación

La compactación del suelo se refiere a un aumento de su densidad como resultado de presiones o cargas aplicadas, este fenómeno se genera gracias a la compresión de partículas sólidas, la compresión de líquidos y gases dentro del espacio poroso, al reacomode de las partículas y a cambios en el contenido del líquido y gases. (Aguero & Alvarado, 1983)

En la técnica de TVC esta propiedad es fundamental ya que la tierra en este sistema constructivo es la que funge como muro portante de cargas y esto se genera gracias a la capacidad de compactación que la tierra tiene como propiedad.

2.2.2 La técnica de tierra vertida compactada (TVC)

En esta investigación se aborda la técnica de tierra vertida compactada ya que es un sistema experimental que puede adaptarse a las condiciones desérticas de la región de García y la mayor parte del norte de la república mexicana.

Por un lado se tiene que la tierra aplicada en las distintas técnicas constructivas, es considerada un material eficiente en términos energéticos ya que ofrece confort acústico y térmico durante su desempeño en la vivienda, por lo que este tipo de viviendas no necesitan climatización externa para ser confortables en regiones desérticas.

Por otro lado esta técnica es más eficiente en términos de recursos hídricos ya que la lógica constructiva de esta tipología establece que la tierra no debe de estar mojada (como lo es el caso del adobe o el bahareque), tan solo debe estar humedecida para que los estabilizantes y la tierra se mezclen con ayuda del agua.

Ciclo de vida de la técnica de TVC

Como ya se ha mencionado, en la región noreste de México, el material más abundante para la autoconstrucción, es la tierra por dada la situación geográfica y climática lo que es común que la técnica más utilizada para la edificación de viviendas sea el adobe. Este bloque compuesto de tierra y paja o cebada, tiene un proceso de elaboración que no requiere la explotación industrializada de los recursos que se necesitan para su fabricación.

Sin embargo, la técnica de TVC, la cual aún no se ha explorado en esta región del norte, pudiera ser más favorable que el adobe en esta zona, por contener menos elementos para su elaboración lo cual se traduce en rapidez de edificación y practicidad en la obtención de los materiales para realizarlas (Gerrero, Soria, García, & Fernández, 2015).

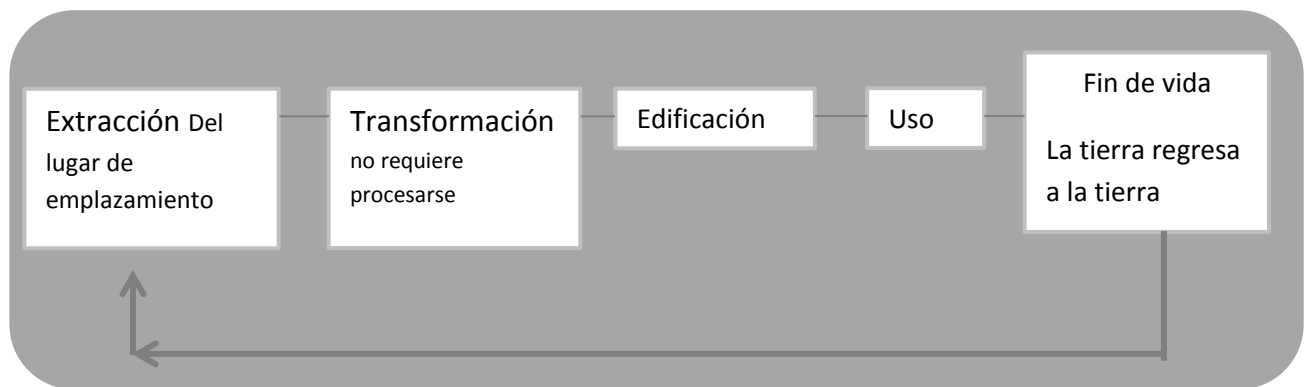


Ilustración 18. Esquema cíclico del ciclo de la técnica constructiva de tierra
Elaboración propia

Fuente:

Esta técnica, pudiera asegura el confort de la vivienda de tal manera que no tenga que ser climatizada artificialmente, lo cual se traduce en menor consumo energético externo y bajas emisiones de huella de carbono durante la etapa de extracción y de vida útil, como se establece en los objetivos de ciclo de vida del producto, lo cual proporcionaría mayor eficiencia energética y reducción de costos para el usuario.



Ilustración 19. Encofrado tipo tapial. Fuente: Luis Guerrero

La construcción en TVC tiene los principios de la construcción del tapial, tal como se muestra en la ilustración 18; pues al igual que la lógica constructiva de este sistema ancestral, utiliza encofrados que se compone por tablonces paralelos separados y sujetos por un travesaño en donde se vierte la tierra y se comprime con un pisón cuando se lleva a cabo de forma manual, la diferencia es que la compactación de tierra se realiza por fuera del encofrado por las dimensiones del espesor, a diferencia del tapial, que se lleva a cabo dentro de los encofrados.



Ilustración 20. Técnica de TVC. Fuente: Luis Guerrero

En México existen pocas construcciones en esta técnica, las cuales han sido producciones experimentales llevadas a cabo por la Universidad Autónoma Metropolitana de Xochimilco. La edificación más reciente llevada a cabo con asesoría por parte de esta institución es una edificación emplazada en Tlaxco, Tlaxcala, que se muestra en la ilustración 19.

2.2.3 Contexto y situación de la vivienda en el semidesértica de García, Nuevo León.

Dentro de la investigación se identificaron tres aspectos importantes como factores de riesgo en torno a la vivienda, como se muestra en la imagen 3.1 estos parten del consumo de recursos que dependen de la industria extractiva que a su vez

genera la contaminación, los cuales consecuentemente están asociados con el calentamiento global y la sobrepoblación.

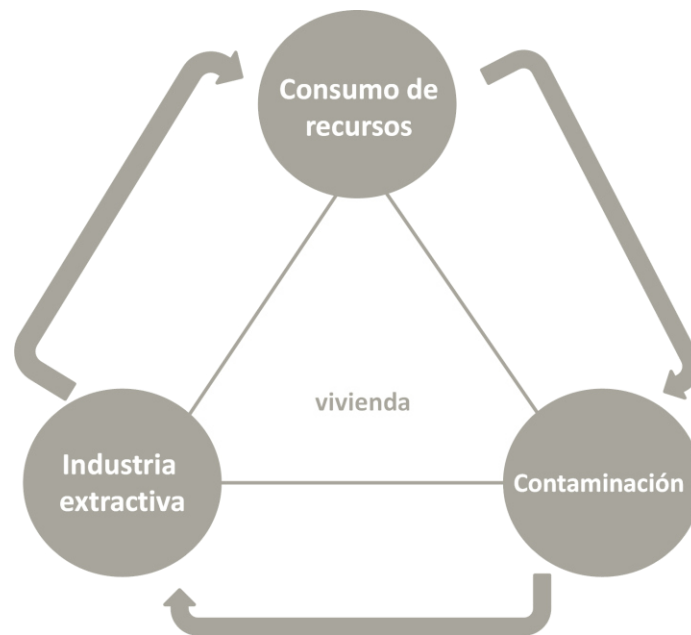


Ilustración 21. Factores de riesgo en torno a la vivienda. Fuente: Elaboración propia

Como se mencionó con anterioridad, las antiguas construcciones que en García se edificaron fueron hechas con la técnica del adobe, ya que es un sistema en donde se utiliza la tierra por ser un material que abunda en la región.

Una de las razones por la que esta antigua técnica del adobe desapareció en esta zona fue debido a la llegada de la industria del concreto; por sus procesos industrializados el adobe no pudo competir con este material.

Y así, con la llegada de estos nuevos materiales se intensificó el uso del block para construir la siguiente generación de viviendas, en las cuales no se atiende la demanda de una vivienda habitable en esta zona debido a su bajo desempeño térmico (Gerrero, Soria, García, & Fernández, 2015) y sus prácticas agresivas con el ambiente durante su proceso de elaboración en donde no se contempla el precio del impacto ambiental que se produce durante el proceso de elaboración y edificación.

|

Estos desarrollos inmobiliarios llevados a cabo en el municipio son casas elaboradas con materiales de cemento portland gris, lo que genera una creciente desarticulación entre las prácticas constructivas de tierra en la región y la arquitectura contemporánea.

Este fenómeno ha ido reduciendo la posibilidad de generar soluciones de vivienda sustentables que valoren los materiales de construcción nativos que den soluciones a la problemática de crisis energética, desertificación y cambio climático (Plaza, 2011).

2.2.4 Autoconstrucción

Actualmente, sigue existiendo una tendencia de crecimiento en la demanda de la vivienda popular en todo el país, de acuerdo con un estudio sobre la vivienda, durante los primeros treinta años del siglo XXI, en México se requerirá construir cerca de 19.0 millones de viviendas.

\

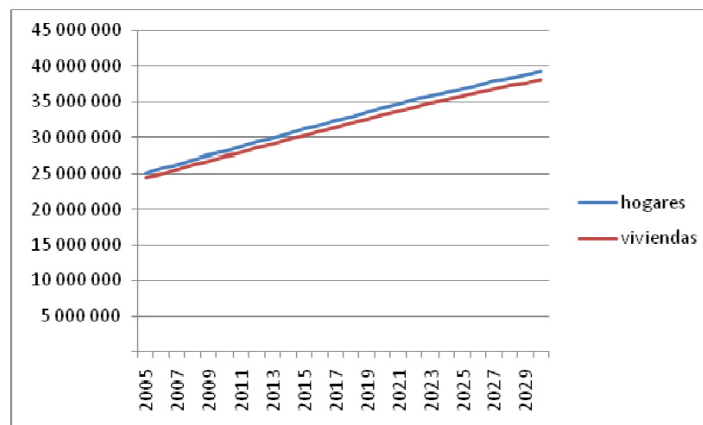


Tabla 2. Proyecciones de hogares y viviendas
Fuente: CONAPO.

Las estadísticas del CONAPO (Concejo Nacional de Población) estiman un incremento del 60% en el déficit de vivienda, en términos de número de hogares para el año 2030 respecto al 2005, que es de 734 mil viviendas.

En el municipio de García actualmente existen aproximadamente 140 mil habitantes y 50 mil viviendas nuevas de interés social que se han creado desde el año 2000 y se espera un aumento en esta cifra en los próximos años según datos de desarrollo urbano del municipio.

Dentro de este contexto, la creciente demanda de vivienda en el municipio de García, ha generado un crecimiento poblacional descontrolado, sin un proyecto de planeación edilicia pertinente, razón por la cual se busca regresar a las prácticas de autoconstrucción alternativa que aporten soluciones a la problemática de la vivienda digna.

Para hacer frente a los posibles escenarios futuros que se proyectan en los estudios elaborados por CONAPO, se plantea la opción de recurrir a la autoconstrucción¹² como estrategia para minimizar el déficit de la vivienda.

Este proceso de edificación de vivienda autoconstruida tiene siglos de antigüedad y ha sido aplicado en todas las culturas de las distintas regiones del planeta, lo que la hace muy diversa ya que los materiales y la tecnología utilizada responden a las condiciones del microclima de cada zona en cuestión. (Rapoport, 1969).

Los usuarios, desde la necesidad de resguardo y forzados a utilizar los materiales disponibles de la región, desarrollaron técnicas a prueba y error de donde las tecnologías más eficientes permanecieron y se perfeccionaron.

Sin embargo, esta práctica fue desapareciendo durante la época de la revolución industrial, con las nuevas tecnologías y la “fuerza bruta”¹³ sobre la naturaleza; esta

¹² El termino autoconstrucción, se define como el proceso de edificación realizada por sus propios usuarios ya sea de forma individual, familiar o colectiva. (México, 2006).

visión del mundo, le dio a los humanos un poder sobre la naturaleza sin precedentes, lo cual permitía la estandarización de los productos de consumo entre ellos la vivienda y el modo de construir. (McDonough & Braungart, 2002).

Sin embargo la tendencia por la autoconstrucción va en aumento debido al costo especulativo del mercado inmobiliario,

Hoy en día, la autoconstrucción es un procesos complejo ya que su naturaleza radica en diversos factores, pues se puede llevar a cabo de manera individual o colectiva, legal o ilegal, espontanea o dirigida, independiente de los pobladores u organizada por agentes externos de organismos públicos o privados.

Bajo estas condiciones solo es posible aplicar un nivel técnico elemental, en el sentido de que no hay necesidad de un desarrollo tecnológico muy complejo para llevarlo a cabo la auto- construcción. Esto no significa que la autoconstrucción en términos de producir el sistema constructivo y edificación de la vivienda no requiera de niveles de conocimientos de observación profundos, de hecho la autoconstrucción con tierra, son técnicas estudiadas, probadas e implementadas en muchas zonas del mundo.

Otra forma de concebir la autoconstrucción puede ser como una práctica social ya que durante el proceso de esta, los individuos involucrados generan soluciones a la necesidad básica de la vivienda. De manera que se desarrollan estratégicamente procesos de planificación, organización e implementación de diversas tareas para lograr la edificación de la vivienda de manera colectiva donde se soluciona la problemática de adquisición de vivienda en sectores carentes de recursos económicos.

De manera que por lo regular las viviendas autoconstruidas son de índole artesanal; por tal razón en el medio rural se dispone de los materiales locales pues solo es necesario habilitarlos para que sirvan como recursos de edificación.

¹³El autor se refiere a que la tecnología desarrollada durante y después de la revolución industrial, ha sido diseñada para saquear la naturaleza de forma devastadora y que ha llevado al hombre a depender del sistema artificial.

Actualmente la autoconstrucción es una respuesta ante la imposibilidad de acceder a las viviendas disponibles a través del mercado inmobiliario ya sea privado o del estado, pues tan solo en el municipio de García se han incrementado la población irregular.

La situación de escasas de vivienda viene a cambiar el paradigma de la forma de construcción especializada y a poner en evidencia nuevamente que el conocimiento que encierran las viviendas vernáculas autoconstruidas tiene un gran potencial para solucionar la escasez de vivienda popular de calidad.

Por lo que gracias a estas dos condicionantes, que son la escasas de recursos financieros y el fracaso de la vivienda de interés social (Wiesenfeld, 2001), están resurgiendo las prácticas de autoconstrucción con los materiales propios de la región con sistemas eficientes los cuales responden coherentemente a la búsqueda del confort.

Desde estos escenarios, se retoma y analiza la definición de los sistemas de autoconstrucción tradicional para reivindicar la característica del confort y aprovechamiento de recursos como primordial distintivo que pudieran ofrecer las viviendas autoconstruidas.

2.3 El agua en la construcción

El agua es un recurso indispensable para todos los seres vivos del planeta, pues de ella depende nuestra supervivencia, por lo que éste recurso al ser limitado debe recolectarse y distribuirse cuidadosamente, es básico para el desarrollo económico y comercial pues al intercambiar productos y servicios, también se intercambian grandes cantidades de agua (AgroDer, 2012).

Por tal razón, es de gran importancia tomar en cuenta todos los factores que intervienen en la gobernabilidad del agua para entender las condiciones en que este

recurso es utilizado por la industria y la sociedad, cuales son las causas del estrés hídrico¹⁴ y escasez, y por qué el agua se ha convertido en un tema de debate alrededor del mundo.

Todo esto con el fin de tomar conciencia sobre el impacto que tienen las actividades cotidianas domesticas e industriales y llevar a cabo acciones que mejoren el aprovechamiento y la conservación del agua en la actividad humana y tomar en cuenta que del buen manejo de este recurso, dependen los ecosistemas que sustentan la vida en la tierra.

2.3 El agua

2.2.3. El manejo del agua las edificaciones de muros de TVC

El agua es un recurso indispensable para todos los seres vivos del planeta, pues de ella depende nuestra supervivencia, por lo que éste recurso al ser limitado debe recolectarse y distribuirse cuidadosamente, ya que es básico para el desarrollo económico y comercial pues al intercambiar productos y servicios, también se intercambian grandes cantidades de agua (AgroDer, 2012).

En México el crecimiento económico no ha tomado en cuenta seriamente las señales de escasez del agua pues los modelos de desarrollo urbano han concentrado la población y la actividad económica en zonas de alta escasez hídrica, como lo es el caso de la región del semidesierto de García, ocasionando mayor presión sobre las reservas de agua al punto que el volumen de este recurso demandado es mayor que el suministrado (Sainz & Becerra, 2007).

Dentro de este contexto, la industria de la construcción además de que ha comenzado a enfrentarse al calentamiento global todavía tiene que asumir su responsabilidad respecto al ahorro de recursos hídricos y tomar en cuenta que la

¹⁴Cuando la demanda de agua es más importante que la cantidad disponible durante un periodo determinado o cuando su uso se ve restringido por su baja calidad; Es una consecuencia asociada con el cambio climático debido a que afecta el ciclo hidrológico y la disponibilidad del agua de la que depende el consumo humano y muchas de las actividades económicas (Viveros & Godínez, 2015).

escasez del agua en el mundo es un problema más urgente que el abastecimiento de energía, ya que ésta tiene un impacto directo sobre la salud y la producción de alimentos (Edwards, 2008).

Por otro lado, estudios recientes sobre experimentos bioclimáticos llevados a cabo por la Universidad Autónoma Metropolitana establecen que la técnica de TVC tiene mejor aislamiento térmico en comparación con los materiales industrializados (Gerrero, Soria, García, & Fernández, 2015).

Por tal razón, esta investigación se centra en conocer la cantidad de agua con la que es posible edificar un bloque de tierra para la elaboración de muros de TVC y obtener la huella hídrica por metro cuadrado de construcción, para posteriormente llevar a cabo una comparación del consumo de agua que se requiere para elaborar 1mt cubico de concreto basado en cemento portland gris, por ser este el material que más es utilizado en esta región.

Está dirigida a tratar la problemática del agua como variable central, pretende proporcionar elementos cuantitativos que ofrezcan fundamentos para que en esta técnica constructiva de TVC se utilice el menor consumo de agua sin que las edificaciones pierdan sus características de calidad y confort térmico.

2.2.4 Análisis comparativo de la huella hídrica del concreto y la técnica de TVC.

El agua que existe en el planeta está conformada por agua salada en un 97.5% y agua dulce en un 2.5%, pero casi toda esta congelada en los polos y en los glaciares; del agua dulce, 69.7% es agua congelada, 30% es subterránea y en los ríos y lagos hay sólo 0.3%. (CONAGUA, 2012)

Aunado a esto, el agua que aunque es un recurso renovable, ha comenzado a escasear en el planeta debido al calentamiento global y el crecimiento exponencial de la población mundial lo que genera conflictos por el recurso.

Ante este panorama, se han buscado estrategias para medir la cantidad de recursos naturales que son consumidos por la población humana.

Para conocer la cantidad de agua consumida se creó el concepto de “huella hídrica (HH)”; es un indicador para medir la cantidad de agua que se requiere en todas las actividades ya sean domesticas o para producir bienes y servicios, procesos industriales y generación de energía (AgroDer, 2012).

Tiene relación estrecha con la huella de carbono puesto que en el ámbito del agua se ubica como un importante antecedente; es parte de la “familias de huellas ecológicas” que sirven para conocer la presión humana sobre el planeta; son indicadores que tienen como objetivo medir el impacto generado por el crecimiento de la población y las actividades humanas, ya sea en la biósfera, la atmósfera o la hidrósfera (Water Footprint, 2013).

Para un producto, la HH es el contenido total de agua azul, verde y gris involucrada en toda la cadena de procesos de elaboración del mismo, y considera únicamente el agua dulce y se conforma de 4 componentes básicos:

- Volumen
- Color/clasificación del agua
- Lugar de origen del agua
- Momento de extracción del agua

La HH considera la fuente de donde proviene el agua y, en función de ello, la clasifica en 3 tipos o colores: azul, verde y gris. Los costos de oportunidad, el manejo y los impactos para cada uno difieren significativamente para cada color.

Agua azul	Agua verde	Agua gris
Se denomina así a la que se encuentra en los cuerpos de agua	Es el agua de lluvia almacenada en el suelo como humedad, siempre y	Es toda el agua contaminada por un proceso. Sin embargo, la

<p>Superficial (ríos, lagos, esteros, etc.) y subterráneos. La huella hídrica azul se refiere al consumo de agua superficial y subterránea de determinada cuenca, entendiendo consumo como extracción. Es decir, si el agua utilizada regresa intacta al mismo lugar del que se tomó dentro de un tiempo breve, no se toma en cuenta como HH.</p>	<p>cuando no se convierta en escorrentía. Igualmente, la huella hídrica verde se concentra en el uso de agua de lluvia, específicamente en el flujo de la evapotranspiración del suelo que se utiliza En agricultura y producción forestal.</p>	<p>huella hídrica gris no es un indicador de la cantidad de agua contaminada, sino de la cantidad de agua dulce necesaria para asimilar la carga de contaminantes dadas las concentraciones naturales conocidas de éstos y los estándares locales de calidad del agua vigentes.</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabla 3. Clasificación del agua dulce para medir HH. Fuente: AgroDer

La suma del agua verde, el agua azul y el agua gris que requiere un producto o servicio dentro de todo el proceso de elaboración será su huella hídrica (AgroDer, 2012).

Dentro del concepto de HH también existe el concepto de “agua virtual” como se muestra en la tabla 3, y se refiere al agua que es utilizada a lo largo de la cadena de procesos durante el ciclo de elaboración y producción de un producto hasta su etapa final (AgroDer, 2012).

Contenido de Agua Virtual de productos comunes		
Producto	Mililitros o Gramos	Agua Virtual (litros)
Playera de algodón	250 g	2,000
Hoja de papel A4	80g/m ²	10
Microchip	2g	32
Par de zapatos	piel bovina	8,000
Taza de café	125 ml	140
Vaso de jugo de naranja	200 ml	170
Vaso de leche	200 ml	200
Huevo	40 g	135
Copa de vino	125 ml	120
Vaso de cerveza	250 ml	75
Jitomate	70 g	13
Hamburguesa	150 g	2,400

Fuente: Hoekstra, A. y Chapagain, 2006.

Tabla 4. Contenido de agua virtual de algunos productos.
Fuente: Hoekstra y Chapagain

Esto conlleva en principio a verificar la cantidad de agua que se necesita para elaborar un block de concreto y el agua requerida en la técnica de TVC, con el propósito de obtener un marco referencial del recurso hídrico que se necesita para para la construcción en estas técnicas.

Actualmente las empresas que se dedican a esta industria han empezado a prestarle mayor atención a la importancia que los recursos hídricos debido a la presión del nuevo paradigma de la sostenibilidad, sin embargo, los esfuerzos para evaluar la huella hídrica se han llevado a cabo recientemente y las metodologías empleadas son heterogéneas.

Razón por la cual, hay una notoria carencia de estudios de huella hídrica relacionados con el sector cementero; por otro lado no existen aún políticas y medidas que promuevan la gestión eficaz del agua utilizada dentro de la industria de la construcción, y existe muy poca información sobre la cantidad de agua utilizada para la elaboración del cemento.

Sin embargo en algunos estudios se ha concluido que para la producción de 1m³ de concreto se consumen entre 2,1 y 2,8 m³ de agua, seguido por el consumo de agua

|

indirecto debido al consumo de energía (electricidad, diésel, carbón) y la cadena de suministro, (ECHEVERRI, 2014).

Desde este argumento se puede establecer que la HH del block de concreto basado en cemento portland gris tiene las siguientes etapas:

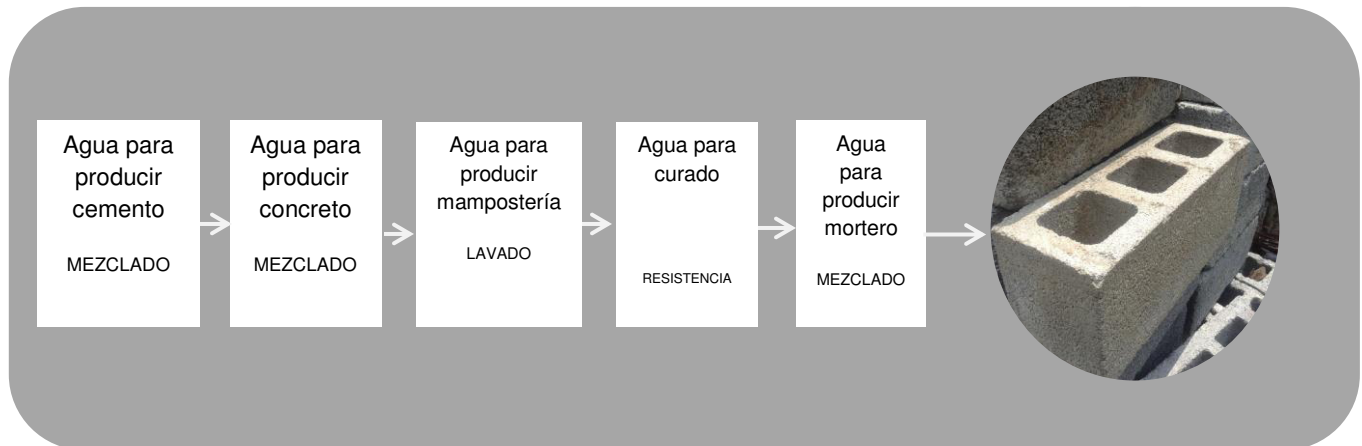


Tabla 5. Fases de la huella hídrica para producir un block de concreto basado en cemento. Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, en el procedimiento de la técnica de TVC se utiliza el agua con dosificaciones controladas lo que permite medir e intervenir en la utilización de este recurso.

La característica principal de esta técnica es que su estructura monolítica es portante, una de las condicionantes de esta técnica que la tierra únicamente se humedece para que esta no resulte en estado plástico.

Dicha estructura se logra con las dosificaciones adecuadas de cal y agua, las cuales son las que se utilizan en porcentajes mucho menores con respecto de la cantidad de arcilla que se requiere para elaborar la mampostería, es esta la parte crucial de la técnica constructiva, y es lo que permite que se genere la resistencia de la estructura, de otro modo si la mezcla contiene más agua de lo establecido en los porcentajes, se pierde la rigidez (Minke G. , 2000).

Fases de la huella hídrica para producir un block de concreto basado en cemento.

Mezclado para producción de cemento	Utilización de agua azul	Residuos de agua gris
Mezclado para producir concreto para mampostería	Utilización de agua azul	Residuos de agua gris
Lavado y curado de block de concreto	Utilización de agua azul	Residuos de agua gris
Mezclado para la elaboración de mortero	Utilización de agua azul	Sin residuos

A diferencia de la técnica de TVC, el procedimiento constructivo al ser en sitio, el agua utilizada se puede suministrar de forma controlada lo que permite intervenir y medir las dosificaciones de agua.

La lógica constructiva de este sistema de tierra se basa en humedecer la mezcla de tierra, estabilizantes y agregados sin que esta resulte en estado plástico, dicha composición física se logra con las dosificaciones adecuadas de agua (Minke G. , 2000).

Fases de la huella hídrica para producir un block de TVC.

Mezclado para producción de Block	Utilización de agua azul	Sin residuos
-----------------------------------	--------------------------	--------------

Cabe remarcar que en esta investigación no se contempló el estudio del agua virtual que se genera a raíz del uso de la cal, ya que este estabilizante también cuenta con un contenido de huella hídrica para su producción en la fase de apagado, sin embargo lo que se contabiliza es el agua utilizada durante el proceso de la elaboración de los muros.

Desde esta perspectiva, la técnica de TVC pudiera ser una solución para una mejor gestión y reducción en el consumo del agua en la construcción, ya que esta técnica al no ser industrial y por su método constructiva, el suministro de agua puede ser gestionado favorablemente en comparación con los materiales industrializados.

CAPITULO 3 METODOLOGIA

3.1 Diseño de la investigación

Para obtener resultados de acuerdo a las variables establecidas en la investigación, fue necesario diseñar tres instrumentos los cuales fueron aplicados en distintos contextos por lo que la investigación es de corte mixto; contiene dos instrumentos de enfoque cuantitativo y un tercer instrumento es de corte cualitativo.

3.2 Enfoque cuantitativo

Dentro de los experimentos cuantitativos para esta investigación se aplicaron dos instrumentos de medición.

Uno de los experimentos es de corte cuantitativo experimental exploratorio y en éste se toma de referencia la norma mexicana NMX-C-404-ONNCCE-2005 de la industria de la construcción. (ONNCCE, 2005).

Para llevar a cabo este experimento, se utilizó una muestra de tierra obtenida de los bancos del río Pesquería ubicado dentro del municipio de García, la tierra se utilizó para elaborar un block de tierra que sirvió como referente para llevar a cabo comparaciones de la cantidad de agua que se requiere para los blocks en la técnica de TVC y con los blocks de concreto basado en cemento portland gris.

El segundo experimento es de corte cuantitativo no experimental descriptivo; la herramienta que se diseñó fue una encuesta para los habitantes de García con la finalidad de recabar datos que permitan conocer si hay concientización entre la población sobre las variables de la investigación.

El objetivo es conocer la tendencia sobre el conocimiento entre los habitantes de García sobre el impacto ambiental negativo que genera la industria de la construcción basada en materiales de alto impacto energético, específicamente el block de concreto basado en cemento portland gris por ser este material el más utilizado en la zona.

Se busca medir el grado de conocimiento y entendimiento en los habitantes sobre la importancia del uso del agua en la construcción, y las alternativas sustentables que ofrece la vivienda de tierra.

3.2.1 Diseño del instrumento cuantitativo no experimental

El instrumento cuantitativo no experimental está estructurado en una encuesta de 21 preguntas donde 7 corresponden a cada una de las variables de la investigación, la finalidad es recolectar datos específicos que proporcionen información sobre la tendencia en la percepción de los encuestados del municipio de García y zona Metropolitana de Nuevo León.

El primer bloque de preguntas está orientado a obtener datos cuantificables sobre si los encuestados tiene conocimiento sobre la sustentabilidad para la construcción. El segundo bloque de preguntas está orientado a evaluar el nivel de conocimiento sobre la utilización del agua dentro de la industria de la construcción y el grado de conocimiento o concientización sobre el cuidado de este recurso; el tercer bloque se orienta a la medir el conocimiento sobre sistemas constructivos de tierra (ver anexo 2 Encuesta).

3.2.2 Población y muestra

Para llevar a cabo el instrumento cuantitativo descriptivo, se seleccionó una población de 400 personas tomando como referencia el número de viviendas que hay en el fraccionamiento al poniente del casco histórico del municipio de García ya que es ahí donde comienza la zona sub rural y rural del municipio, considerada en este estudio como una zona altamente vulnerable y amenazada por la urbanización con materiales industrializados basados en cemento portland gris.

Para representarla población se aplicó una encuesta a una muestra de 200 individuos. Ésta fue elaborada con la escala de Likert¹⁵, y los individuos fueron elegidos aleatoriamente.

Durante la jornada para llevar a cabo las encuestas se asistió a la plaza municipal por ser este el espacio físico de mayor concurrencia de los vecinos aledaños al casco histórico así como en los centros educativos de nivel medio superior. Se contó con la apoyo del Instituto de la Juventud del municipio para realizar las encuestas.

Paralelamente se realizaron encuestas en el municipio de Monterrey, igualmente de forma aleatoria para detectar preferencias y tendencias donde se puedan establecer patrones de concientización y preferencias.

3.2.3 Análisis de confiabilidad

Para el análisis de confiabilidad se utilizó el método de Alfa de Cronbach. Este método permite estimar la fiabilidad de un instrumento de medida a través de un conjunto de ítems que se espera que midan las variables que se están analizando en la investigación.

¹⁵ Es un método de evaluaciones que mide niveles psicométricos a través de preguntas de investigación, en la pregunta se especifica el nivel de acuerdo o desacuerdo.

Estos ítems son las preguntas elaboradas las cuales obtienen un valor dado por la escala de Likert.

La medida de la fiabilidad mediante el alfa de Cronbach asume que los ítems (medidos en escala tipo Likert) miden un mismo constructo y que están altamente correlacionados. Cuanto más cerca se encuentre el valor del alfa a 1 mayor es la consistencia interna de los ítems analizados. La fiabilidad de la escala debe obtenerse siempre con los datos de cada muestra para garantizar la medida fiable del constructo en la muestra concreta de investigación”, (Cronbach, 1951).

3.2.4 Diseño de instrumento cuantitativo experimental

Como se mencionó con anterioridad, el segundo instrumento diseñado es cuantitativo de corte experimental el cual busca fijar la resistencia mínima a la compresión que necesita el bloque de tierra, en donde la variable dependiente es la resistencia y la variable independiente es la dosificación de agua.

Al tomar el agua como la variable independiente, se busca establecer el porcentaje mínimo de dosificación de agua buscando que el bloque de tierra no pierda resistencia.

Para ello se utilizó como marco de referencia la norma mexicana NMX C-036-ONNCCE-2005. Esta norma establece los ensayos de resistencia y está dentro de la norma NMX-C-404-ONNCCE-2005, que establece los lineamientos de ensayo para mampostería, tabiques, tabicones, etc.

Esta norma, está diseñada para evaluar la resistencia mínima a la compresión de mampostería de concreto basado en cemento portland gris, sin embargo debido a que no existe normativas para mampostería de tierra se recurrió llevar acabo los ensayos de resistencia a la compresión que establece esta norma.

Para esta investigación, como primera fase se procede a una caracterización física de las materias primas a utilizar en la fabricación de las unidades de mampostería. Para ello se determinó la masa específica relativa¹⁶ de los componentes que conforman la mezcla, que son: tierra arcillosa, cal, arena cribada de granulometría #4 y agua.

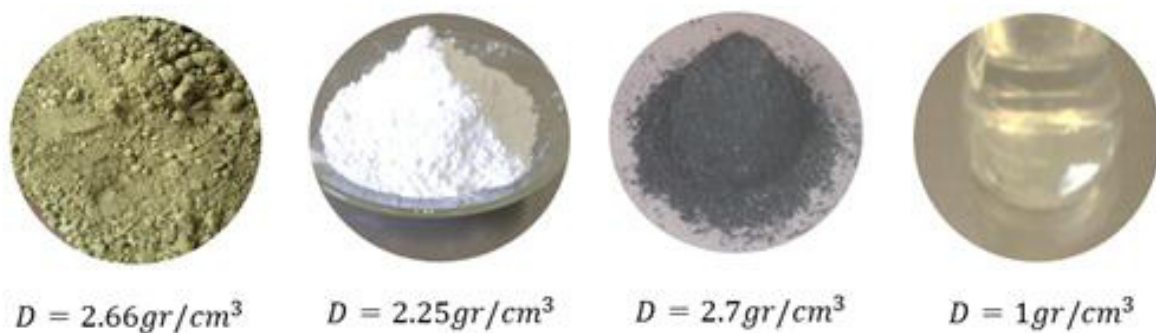


Ilustración 22. Densidad de los materiales para TVC. Fuente: Elaboración propia

Los procedimientos que se realizaron para la obtención de la densidad de cada uno de estos materiales están establecidos en la norma mexicana NMX-C-165-ONNCCE-2014 para la determinación de la densidad relativa y absorción de agua de los agregados (ver anexo 1 determinación del peso específico de los agregados).

Una vez obtenidas las densidades de cada material se procedió a elaborar los especímenes con los distintos porcentajes de agregados basados en porcentajes de un ensayo previo de mampostería de TVC que se muestra en la ilustración 23.

¹⁶ Se define como masa específica relativa de los sólidos de un suelo o densidad de sólidos, a la relación entre el peso específico de la materia que constituyen las partículas del suelo y el peso específico del agua destilada a 4 °C. En la práctica la densidad de sólidos se obtiene, como la relación entre el peso de los sólidos y el volumen de agua que desalojan a la temperatura ambiente.

Determinado los porcentajes de cada espécimen se someten a compresión para medir su resistencia basada en los ensayos de la norma NMX-C-036-ONNCCE-2005¹⁷ (ONNCCE, 2005).

Diseño del experimento cuantitativo

Como ya se ha mencionado, para esta investigación la variable dependiente es la resistencia y la variable independiente es la dosificación de agua; al tomar el agua como la variable independiente, se pretende establecer el porcentaje mínimo de dosificación de agua buscando una óptima compactibilidad para que el bloque de tierra no pierda resistencia.

Esto con la finalidad de medir la dosificación de agua requerida para controlar el suministro de agua en esta técnica y posteriormente realizar una comparación de huella hídrica con el block de concreto.

Cabe agregar que no existen normativas para ensayar mampostería a base de tierra en la tipología que se propone, por tal razón para llevar a cabo el experimento cuantitativo se utilizó como referencia la norma mexicana NMX-C-404-ONNCCE-2005¹⁸ de la industria de la construcción.

Se busca partir de un marco referencial para llevar a cabo pruebas de ensayos con distintos porcentajes de agregados y estabilizantes que permitan elaborar una mampostería de tierra para posteriormente aplicar la resistencia tomando como referencia la norma NMX C-036-ONNCCE-2005, y definir los porcentajes óptimos de cada componente y fijar la resistencia mínima a la compresión en el bloque de tierra y poder llevar a cabo un análisis comparativo de la diferencia de la cantidad de agua que se requiere para ambas técnicas.

¹⁷ La determinación de la resistencia a la compresión se realiza con base en las normas mexicanas ONNCCE "Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación." Las pruebas o normas de laboratorio indican como ha de llevarse a cabo el proceso para el análisis y el estudio de la resistencia.

¹⁸ La norma contempla bloques tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural y establece las especificaciones y métodos de prueba (ONNCCE, 2005).

Proporción inicial

Se seleccionó una proporción de los materiales a utilizar en base a criterios experimentales tomando en cuenta la textura de la mezcla al comprimirla con la mano para observar si la tierra se mantenía cohesionada que es la prueba de ensayo que se utiliza empíricamente para esta técnica, como se muestra en la figura 1



Ilustración 23 Tierra humedecida para TVC.

Partiendo de ese primer ensayo se seleccionó la mezcla de referencia o mezcla inicial partiendo de las proporciones en volumen que se indican en, la Tabla 3.

Proporciones en porcentaje de volumen de los materiales

Arcilla	62.5%
Cal	12.5%
Grava	12.5%
Agua	12.5%

Con la mezcla de referencia se elaboró un bloque de tierra con 25cm de largo x 20cm de ancho x 5cm de altura como se muestra en la ilustración 24.



Ilustración 24. Mampostería de TVC.

Caracterización física: Ensayo para la determinación de la densidad aparente

Los procedimientos que se realizaron para la obtención de la densidad de cada uno de estos materiales están establecidos en la norma mexicana NMX-C-165-ONNCCE-2014 para la determinación de la densidad relativa y absorción de agua de los agregados.

Como primera fase se procedió a realizar una caracterización física de las materias primas a utilizar en los bloques de tierra. Para ello se utilizó una muestra de tierra obtenida de los bancos del río Pesquería ubicado dentro del municipio de García, a la que se le hicieron pruebas de granulometría y en las cuales se concluyen que pertenece a un suelo arcilloso.

Seguido, se determinó la masa específica relativa de los componentes que se proponen para conformar la mezcla del bloque de tierra que son arcilla de García, cal marca calidra, arena cribada #4 y agua.

Densidad de los materiales para mampostería de TVC.

Arcilla	$D = 2.66 \text{ gr/cm}^3$
Cal	$D = 2.25 \text{ gr/cm}^3$

|

Grava	$D = 2.7\text{gr/cm}^3$
Agua	$D = 1\text{gr/cm}^3$

Una vez obtenidas las densidades de cada material se procedió a elaborar 4 mezclas con distintos porcentajes de agregados basados en porcentajes del ensayo previo del bloque de TVC que corresponde a la tabla 4.

En base a las proporciones de dosificación de componentes del ensayo preliminar, se elaboraron una serie de 3 especímenes prismáticos de 5cm^3 , por cada mezcla con distintos porcentajes de material, sobre los cuales se realizan los ensayos de resistencia a la compresión.

Porcentajes de materiales de cada espécimen

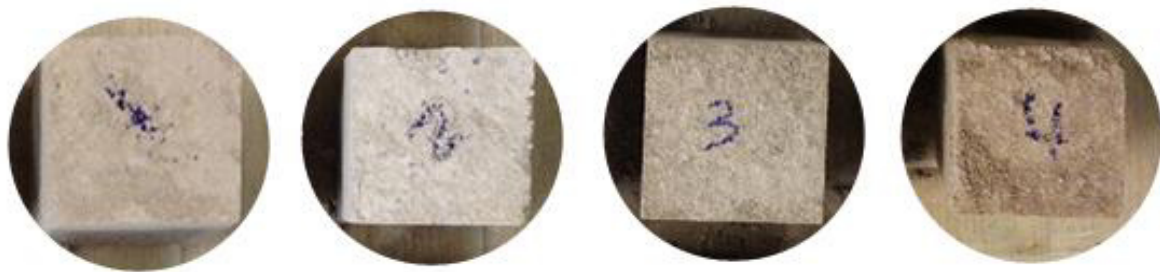


Ilustración 25. Especímenes

Especímen 1	Especímen 2	Especímen 3	Especímen 4
Arcilla 69.38%	Arcilla 64.48 %	Arcilla 59%	Arcilla 58%
Cal 10.78%	Cal 14.34%	Cal 13.63%	Cal 16.47%
Arena 11.41%	Arena 15.18%	Arena 13.63%	Arena 13.59%
Agua 8.45%	Agua 5.62%	Agua 13.63%	Agua 11.12%

Una vez obtenidos los especímenes se procedió a ensayarlos y se concluyó que el espécimen 3 fue el que presentó el comportamiento más óptimo a la prueba de compresión, y fue el que presentó mayor relación con las proporciones del bloque de

|

tierra que se realizó previamente, por lo que seguido se procedió a cortar el bloque de tierra para tomar muestras de éste, del cual se obtuvieron 2 especímenes para ensayar como se muestra en la figura 3.



Ilustración 26. Especímenes prismáticos de arcilla

Para poder sacar las proporciones de cada material que conforma el bloque de tierra se realizó una serie de ecuaciones basados en la medida del bloque inicial de 25cm x 20cm x 5 cm con un volumen de 2500 cm³ y para conformar este bloque de tierra se utilizó un recipiente con un volumen de 492.3 ml.

Con estos datos se puede determinar la cantidad de agua que se utiliza en este sistema constructivo de tierra por metro cúbico.

Porcentajes materiales de block de tierra

Material	Densidad gr/cm ³		Volumen cm ³		Masa gr	%
Arcilla	2.66	x	4923	=	13095.18	62.5
cal	2.55	x	984.6	=	2510.73	12.5
arena	2.7	x	984.6	=	2658.42	12.5
agua	1	x	984.6	=	984.6	12.5

Características mecánicas

El ensayo para la determinación de la resistencia a la compresión se realizó de acuerdo a la norma NMX-C-036-ONNCCE-2005¹⁹ (ONNCCE, 2005).

Dado que no existen normas para realizar ensayos de resistencia a la compresión en mampostería de tierra, esta norma se tomó solo como marco referencial para obtener datos cuantitativos con el fin de conocer el desempeño ya que el estudio de la investigación es medir las dosificaciones de agua que la mampostería, hacer mejoras y/o realizar nuevas propuestas.

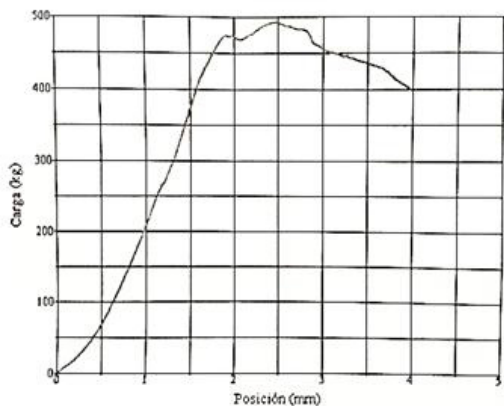


Ilustración 27. Ensayo de compresión.

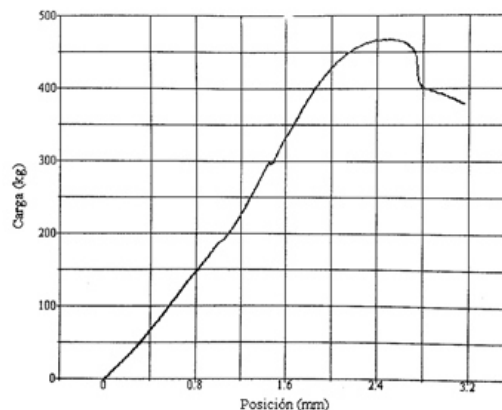
Gráficas de resultado

Las gráficas a continuación, muestran la resistencia de compresión a las que fueron sometidos los cubos prismáticos que se obtuvieron del bloque de tierra.

¹⁹ La determinación de la resistencia a la compresión se realiza con base en las normas mexicanas ONNCCE “Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación.” Las pruebas o normas de laboratorio indican cómo ha de llevarse a cabo el proceso para el análisis y el estudio de resistencia.



Grafica de resultado del ensayo 1



Grafica de resultado del ensayo 2

Los resultados para el primer ensayo arrojaron que el punto máximo de carga por centímetro cubico es de 492kgf, para el segundo ensayo los resultados arrojaron que el punto máximo de carga es de 466kg, esto establece una media de 479kg por centímetro cubico, de los cuales se distribuyen entre los 25 cm que mide el bloque de tierra dando como resultado un esfuerzo de 19.16 kgf/cm^2 .

3.3 Enfoque cualitativo

Para el análisis del enfoque cualitativo, se recurrió al método Delphi²⁰ con el diseño y redacción de seis preguntas de las cuales dos corresponden a cada una de las tres variables que maneja esta investigación; el panel de expertos fue conformado por tres doctores de distintas disciplinas entre estas, biología, arquitectura bioclimática, y conservación del patrimonio natural y arquitectónico.

3.3.1 Diseño del instrumento cualitativo

Para obtener los datos cualitativos se diseñaron las siguientes preguntas que abordan a las tres variables analizadas dentro de esta investigación:

²⁰Su objetivo es la consecución de un consenso basado en la discusión entre expertos mediante un proceso iterativo. Su funcionamiento se basa en la elaboración de un cuestionario que ha de ser contestado por cada experto. El proceso puede repetirse varias veces hasta alcanzar cierto nivel de consenso. Finalmente, el responsable del estudio elaborará sus conclusiones a partir de la explotación estadística de los datos obtenidos. (laboris.net, 1999)

Sobre sustentabilidad para la construcción

1. ¿Por qué es importante diseñar estrategias en el ramo de la construcción que ayuden a proteger y conservar los recursos naturales de la región del norte de México?
2. ¿Cuáles son los daños que genera la industria extractiva de la construcción en las áreas protegidas y no protegidas en Nuevo León?

Sobre el cuidado del agua en la construcción

3. ¿Porque es importante tomar medidas para reducir el uso del agua en la industria de la construcción?
4. ¿Cuáles son los escenarios futuros para la zona metropolitana de Monterrey si no se cuida el agua?

Sobre vivienda de tierra

5. ¿Por qué se debería de retomar la tierra como material de construcción para la vivienda?
6. ¿Qué beneficios aportarían los sistemas constructivos a base de tierra y uso reducido del agua para el entorno natural y urbano?

CAPITULO 4 RESULTADOS

Resolución del objetivo general

Siendo el objetivo general de la investigación establecer las bases y lineamientos para el manejo y cuidado del agua dentro del proceso constructivo en la técnica de tierra vertida compactada se resolvió diseñar una unidad de mampostería a para la edificación de muros en esta técnica, para dar soluciones orientadas a mitigar el uso indiscriminado del agua dentro de la industria de la construcción.

Resolución de los objetivos específicos

La resolución para los objetivos específicos, se resolvieron de la siguiente manera:

- El primer objetivo consiste en identificar cuáles son la mejor práctica para utilizar la técnica de TVC como material de autoconstrucción para la vivienda en términos aprovechamiento de recursos hídricos.
 - Para resolver este objetivo se llevaron a cabo ensayos de mezcla estableciendo proporciones de dosificación de agua, y posteriormente se elaboraron especímenes a los que se le aplicaron resistencia.
- El segundo objetivo es demostrar que estos sistemas de TVC pueden ser tan eficientes y competitivos como los productos de construcción industrializados en términos de aprovechamiento de insumos hídricos.
 - Para resolver este objetivo se debe llevar a cabo un análisis comparativo de huella hídrica entre TVC y concreto.
- El tercer objetivo es proponer un sistema constructivo basado en la técnica de TVC.
 - La resolución de este objetivo es proponer un block o mampostería de tierra de tierra con los porcentajes de agregados recomendados según sean los resultados de las pruebas de resistencia que se deben de aplicar en el primer objetivo específico.

4.1 Resultado cuantitativo no experimental

Análisis de confiabilidad

Para el análisis de confiabilidad se tomaron en cuenta los 24 ítems que corresponden a las preguntas redactadas, con un resultado Alfa = .9373 que establece que es altamente confiable.

	Promedio	Desviación estándar	confiabilidad
1 Facilidad de adquisición del block de concreto	3.0765	1.4176	0.9347
2 Aislación de la vivienda actual	3.1786	1.3488	0.9361
3 Estética de los materiales de concreto	3.0357	1.3714	0.9376
4 Repercusión del concreto en el medio ambiente	3.2551	1.3344	0.9358
5 daño al ambiente del uso de block de concreto.	3.6327	1.2841	0.9348
6 materiales económicos que ayudan a cuidar el ambiente	3.4898	1.3185	0.9346
7 materiales que no dañe el entorno natural	3.9184	1.2623	0.9365
8 Importancia del agua en la vida diaria	4.1582	1.3128	0.9338
9 Disponibilidad de agua donde se vive	4.102	1.181	0.9341
10 El agua que se consume es potable	4.0714	1.279	0.9323
11 El agua que consumo es de fácil acceso	4.0816	1.1912	0.9334
12 El agua que consumo es económica	3.9541	1.1516	0.9327
13 Consumo del agua en la construcción	3.7959	1.2564	0.9332
14 Uso del agua potable en la edificación de muros	3.6633	1.2925	0.9343
15 Reducción del uso del agua potable en la construcción	3.7653	1.2304	0.9335
16 preferencia de materiales que utilicen menos agua	3.7245	1.3495	0.9338
17 Se pagaría lo mismo por un material donde se consume menos agua	3.8878	1.2016	0.9366
18 Eficiencia de la tierra para la construcción	3.8316	1.3348	0.9348
19 El uso de la tierra para proteger el entorno natural	3.6837	1.0917	0.935
20 Los sistemas de tierra para conservar el agua	3.5204	1.2003	0.9342
21 Eficiencia de la tierra como material de construcción	3.6684	1.1081	0.9348
22 Eficiencia termo acústica de la tierra	3.6071	1.2169	0.9342
23 Materiales similares a la tierra	3.5	1.2047	0.9362
24 Utilización de sistemas termo acústicos	4.1173	1.082	0.936

Tabla 6. Análisis de confiabilidad. Fuente: Elaboración propia.

Correlaciones

Paralelamente al análisis de confiabilidad, se realizaron dos tablas de correlación para determinar cuáles eran los ítems en donde se daban las correlaciones más bajas y más altas (ver anexo 3).

Para los criterios de selección, se evaluaron los 15 ítems con correlación más alta de los que se eligieron los 3 ítems con la correlación más alta, los cuales se describen en las siguientes graficas:

Para la correlación alta se obtuvo que el ítem con mayor porcentaje fue el 11 el cual establece que el agua que se consume es accesible, con un porcentaje de 7.6%; le sigue el ítem 12 que establece que el agua que se consume es económica con un porcentaje de 6.9% y el tercer ítem con correlación alta es el 16 que establece la preferencia de materiales que utilicen menos agua, con un porcentaje de 6.37% de correlación.

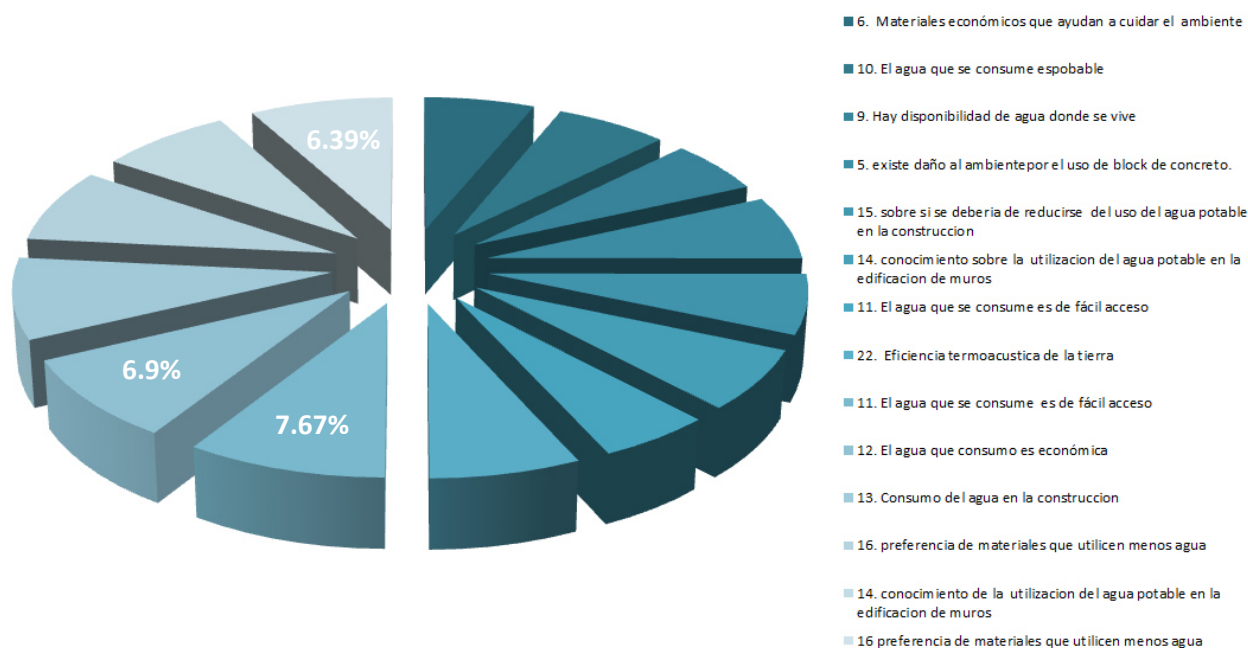


Ilustración 28. Esquema de correlación alta. Fuente: Elaboración propia.

Para la correlación baja se obtuvo que el ítem con menor porcentaje fue el 7 que establece que no se conocen materiales constructivos, que no dañen el medio ambiente con un porcentaje de .995 %; le sigue el ítem 17 que establece que se pagaría lo mismo por un material donde se consume menos agua 1.194% y el tercer ítem con correlación baja es el 23 que establece el conocimiento de materiales similares a la tierra con un porcentaje de 2.948%.

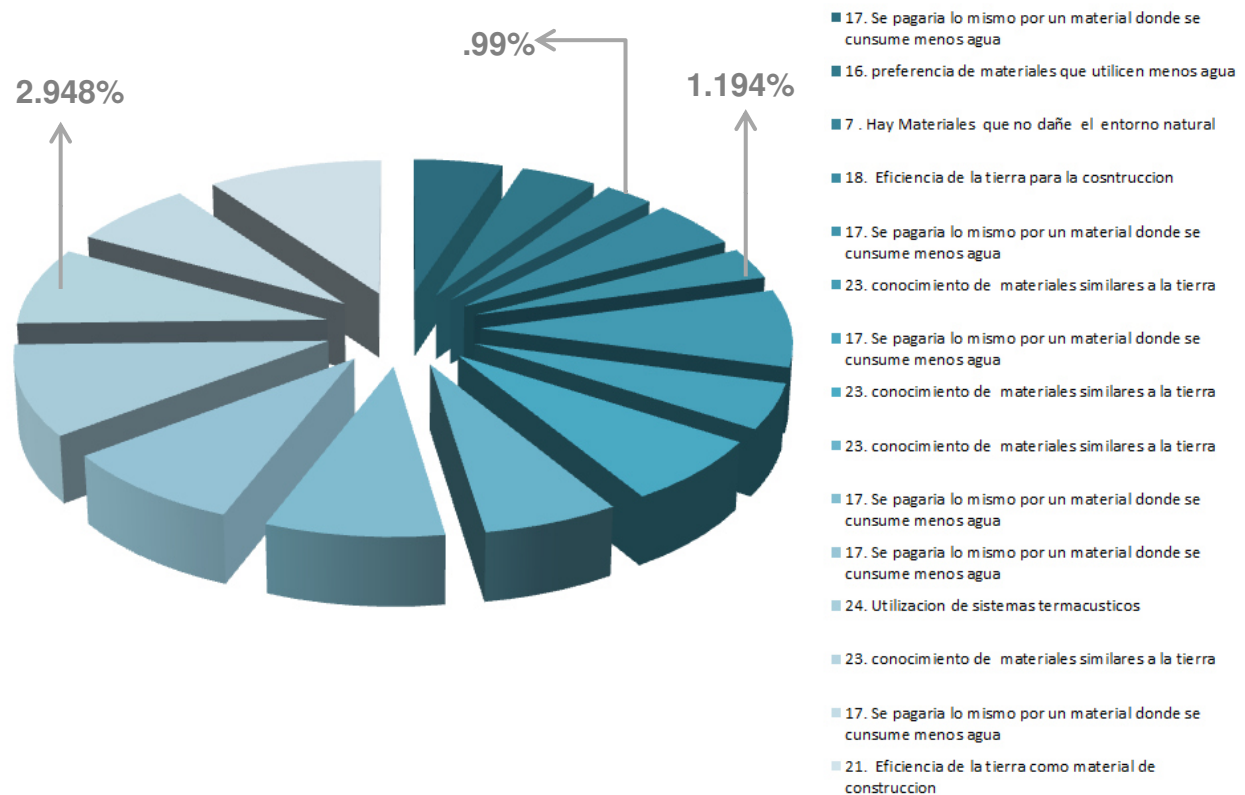


Ilustración 29. Esquema de correlación baja. Fuente: Elaboración propia.

4.2 Resultado cuantitativo experimental

El estudio concluye que para elaborar 2500cm^3 de TVC que corresponde al volumen del bloque con el que se llevó a cabo el experimento, se necesitan 984.5ml de agua, de manera que se puede decir que se necesitan 393.8lt de agua por cada metro cubico de mezcla para TVC.

Por otro lado, si para la producción de 1m^3 de concreto se consumen entre 2,1 y $2,8\text{ m}^3$ de agua es decir entre 2100 litros y 2800 litros de agua, en la técnica de TVC se utiliza solo entre el 18.75% y 14.06% respectivamente.

4.3 Datos cualitativos

En conclusión para las tres variables que se abordaron en el desarrollo de las preguntas, los expertos contestaron las preguntas con respuestas similares lo que resulta en consenso.

Exponen la gran importancia de resolver los problemas que persisten en el deterioro ambiental y que agravan la gestión del agua no solo en el ramo de la construcción si no en todas las actividades domésticas, comerciales e industriales.

Opinan sobre la gran importancia de frenar la industria extractiva causante del deterioro de la biodiversidad endémica y contaminación del agua, y establecen que a través del diseño se pueden desarrollar estrategias que mitiguen e incluso frenen la degradación ambiental.

Dentro de la industria de la construcción de viviendas, concuerdan que la tierra es un material de excelente desempeño térmico y acústico, además de aportar beneficios al entorno natural por las cualidades que ya se han mencionado en la investigación.

Preguntas y respuestas

1. ¿Por qué es importante diseñar estrategias en el ramo de la construcción que ayuden a proteger y conservar los recursos naturales de la región del norte de México?

R1: El deterioro ambiental causado por la extracción de materiales obtenidos de piedra caliza, causa un grave impacto ambiental, tanto en calidad del aire de las zonas de extracción, como de destrucción de ecosistemas, aunado al consumo de agua para la elaboración de dichos materiales. Por lo que es imprescindible buscar alternativas amigables con el medio ambiente y que a la vez proporcionen los requisitos para una vivienda digna.

R2: Porque el rápido crecimiento económico y poblacional local aunado a la limitada variedad de recursos naturales disponibles y las adversas condiciones climatológicas, en pocos años harán que la región se vuelva altamente dependiente del exterior para su desarrollo y que se gaste demasiado dinero para darle calidad de vida a la sociedades.

R3: Por postura ecológica, conservacionista y de responsabilidad social con las futuras generaciones, pues esto implica la práctica de la ética y la toma de conciencia de largo plazo, o sustentable.

2. ¿Cuáles son los daños que genera la industria extractiva de la construcción en las áreas protegidas y no protegidas en Nuevo León?

R1: La obtención de materia prima, mediante la explotación de los cerros de origen sedimentario, es un grave deterioro de la zona en sí, por la destrucción del ecosistema, y el daño generado en las áreas circundantes por la acumulación de polvo en la vegetación que limita su buen crecimiento y refugio para las especies nativas de fauna, además de la gran cantidad de ese polvo transportada por el aire y que contribuye a la grave contaminación ambiental que padecemos los habitantes de la zona metropolitana de Monterrey.

R2: Pérdida de biodiversidad, erosión e impacto con daños colaterales de largo plazo. Promoción de la usura y lucro por encima de los beneficios sociales de la

población, Practicas con vicios y falta de medidas de control y compromiso, en beneficio de pocos.

R3: Se generan fuertes alteraciones al equilibrio ecológico de la flora y fauna regional, se contamina el entorno y se generan paisajes que no propician el desarrollo de actividades primarias para la población con lo que ésta tiene que migrar.

3. ¿Por qué es importante tomar medidas para reducir el uso del agua en la industria de la construcción?

R1: El agua es un recurso cada vez más escaso, en todo el planeta, en la zona norte de México, especialmente en los semi desiertos del noreste, donde este recurso es escaso de por sí, debemos poner prioridad al cuidado y uso eficiente del agua, y buscar alternativas en todos los ámbitos para su protección, no es correcto trasladar agua de otros estados para cubrir las necesidades absurdas de malos manejos del recurso hídrico.

R2: La región norte y casi el 60% del territorio Mexicano presenta condiciones de estrés hídrico, debido a la disminución de mantos acuíferos, cambios en la precipitación pluvial (lluvia, nieve, granizo) y la expansión de las ciudades, incluyendo a Monterrey, Juárez, Tijuana, con tasas demográficas de concentración.

R3: Porque esa industria desperdicia grandes cantidades de ese recurso que es especialmente limitado en el norte de México.

4. ¿Cuáles son los escenarios futuros para la zona metropolitana de Monterrey si no se cuida el agua?

R.1: el agua es sin duda uno de los recursos más importante para la vida en el planeta, aunque sabemos que el 70% de la superficie terrestre está cubierta por

agua, de toda esa cantidad de agua el 97 % es salada, no apta para el uso cotidiano de las personas, y del 3% restante, que es dulce ; casi la totalidad esta de forma que no podemos utilizarla porque está congelada (casquetes polares, o glaciares) , aunado a que estamos en una zona donde las precipitaciones son escasas, y en la ciudad no hay filtraciones, debido a la forma no amigable para el ambiente , en que todo está cubierto por materiales impermeables. La falta de agua será uno de los principales problemas que enfrentemos los habitantes de las ciudades, que arrastraran a su vez graves consecuencias de salud y economía.

R2: No solo en Monterrey, a nivel mundial y en las regiones que ya tienen estrés hídrico como la zona árida y semi árida de México. Creo que a futuro el diseño deberá prescindir del uso de agua para la construcción, por medio de prefabricados y tecnologías que no lo requieran, o que incluyan el re-uso en el procedimiento.

R3: Va a suceder lo mismo que en la Ciudad de México en la que no conformes con el agotamiento de los recursos locales se extraen de regiones cada vez más alejadas y la huella ecológica cada vez crece más.

5. ¿Por qué se debería de retomar la tierra como material de construcción para la vivienda?

R1: la tierra es el material de vivienda por excelencia, en la historia del hombre, proporciona hogares confortables, con temperaturas constantes aisladas del exterior. Además de que su obtención es más amigable y menos destructiva que el uso de otros materiales obtenidos de los ecosistemas.

R2: Aporta al ahorro energético y disminución de emisiones pues se utiliza el material disponible del lugar, en zonas de edificación en suelo, pues puede tenerse vivienda sobre agua o pantano.

Otro aspecto, es que en ciertas regiones con climas extremos, este material ofrece la mejor opción para el diseño bioclimático, al aportar suficiente masa térmica para proveer del comportamiento de inercia y resistencia térmica para lograr un ambiente interior confortable.

R3: Porque es el único material 100% reciclable, genera espacios confortables bioclimáticamente, no se produce ningún tipo de contaminación ni se emplean energéticos durante su transformación en sistema constructivo, propicia el trabajo colectivo para su desarrollo y mantenimiento, no genera dependencia de los habitantes, utiliza solamente recursos materiales locales y, empleando tecnologías apropiadas puede consumir solamente el 15% de su volumen constructivo de agua con lo que se convierte en el material menos depredador de los recursos hídricos. Finalmente, cuando la vida útil de las obras termina, los materiales se integran completamente a la naturaleza sin producir cascajo o basura.

6. ¿Qué beneficios aportarían los sistemas constructivos a base de tierra y uso reducido del agua para el entorno natural y urbano?

R1: Fácil obtención del material, materiales de fácil manejo y más ecológicos, hogares confortables en un medio de climas extremos, y bajo consumo del vital líquido para su construcción y mantenimiento.

R2: Las ventajas habrá que analizarlas en cada sitio, pues los requerimientos térmicos varían. Sin embargo, en la zona del desierto chihuahuense y del norte de México, se logra ahorro de energía en la producción, fabricación y mantenimiento de los edificios previo y durante la vida del mismo. En cuanto al agua, se contribuye a disminuir el consumo de agua disponible para la vida y contrarrestar los efectos de estrés hídrico que actualmente se padece en la región, aunque habrá que ver si su impacto puede mitigarse. Finalmente, aporta a la búsqueda y desarrollo de tecnología con nuevos procedimientos y cambio

de actitudes, cuyo enfoque compromete a los empresarios de la construcción a la mejora de la práctica profesional de la arquitectura.

R3: La generación de una cultura de la sostenibilidad desde el punto de vista económico, ecológico y social que permita generar espacios habitables plenamente confortables sin que se requiera del uso de dispositivos de control higrotérmico.

Las tres opiniones establecen que dentro de la actividad de la construcción la arquitectura de tierra en la tipología de TVC es una estrategia que puede aportar soluciones directas a corto, mediano y largo plazo para el cuidado y conservación del recurso hídrico aunado a las ventajas que tiene como material de bajo impacto energético y su eficiente desempeño acústico y térmico.

CAPITULO 5 CONCLUSIONES Y PROPUESTA

5.1 Conclusión

Existe una problemática ambiental que es consecuencia de la actividad industrial que resulta de las prácticas de consumo; parte de la responsabilidad deriva de la actividad industrial del concreto.

Esta actividad no solo afecta al entorno natural y al aumento de la temperatura global, sino que incide directamente en la degradación de la calidad de la salud humana por la contaminación del aire donde además existe una tendencia exponencial en la pérdida de biodiversidad en las regiones donde se extrae la materia prima para la producción del cemento.

Así mismo la industria del cemento no ha tomado medidas estratégicas para reducir el uso del agua, pues a lo largo de la investigación se detectó que existe muy poca información contundente que establezca de forma cuantitativa el consumo de este recurso en la actividad de la producción de cemento.

Por tal razón, es importante el desarrollo de propuestas estratégicas que mitiguen y desplacen la utilización de los materiales de alto impacto ambiental, (como el caso del cemento), y que estas estrategias de diseño estén orientados a fomentar la conservación de los recursos naturales y habitabilidad en las construcciones de las viviendas del desierto.

Por otro lado, dado que el recurso hídrico es básico para la supervivencia de todos los seres vivos del planeta, es imprescindible orientar esfuerzos desde todos los niveles, actividades productivas y comerciales para salvaguardar el recurso vital.

La tipología de TVC por su lógica constructiva, ayuda no solo a la conservación del agua en las zonas desérticas como es el caso de García, sino que también al utilizar materiales de bajo impacto energético, conserva el entorno natural y reduce los GEI pues esta técnica a pesar de que se propone la utilización de la cal como estabilizante, al ser elaborada en sitio, su proceso no es industrializado por lo que no genera emisiones durante el proceso de edificación de los muros,

Con esta propuesta constructiva se espera generar un cambio de raíz dentro de los sistemas de construcción, donde éstos estén encaminados a unificar la ecología con las prácticas productivas a través de procesos sustentables de producción, distribución y cadena de suministros, que contribuyan al cuidado y conservación del agua y demás patrimonio natural.

5.2 Conclusiones del ensayo

Para esta investigación, los resultados obtenidos son parciales, pues no se contempla la cantidad de agua de todo el proceso de la producción del cemento, solo aquella que es utilizada para producir un metro cúbico de concreto como ya se ha mencionado.

Por lo que se puede establecer que la huella hídrica de TVC es aún mucho menor si se contabilizaran todas las fases de la huella hídrica para producir el block de cemento y durante el proceso de edificación de muros, ya que en la técnica de TVC los muros se elaboran en sitio, por lo que el agua utilizada durante todo el proceso de elaboración de muros en TVC es la misma.

Por otro lado con respecto del ensayo de resistencia, las recomendaciones para favorecer la resistencia la mampostería es aplicar mayor fuerza para la compactación y agregar fibras naturales o puzolanas amorfas, esto con el fin de mejorar su desempeño para las pruebas de compresión.

Por último, no hay evidencia aún sobre si se debe de aumentar el suministro de agua para mejorar el desempeño del bloque de tierra en esta prueba, por lo que se puede establecer que la huella hídrica de TVC es mucho menor que la del block de cemento portland gris.

Por otro lado, la huella hídrica de TVC sería mucho menor si se contabilizaran todas las fases de la huella hídrica para producir el block de cemento y durante el proceso de edificación de muros, ya que en la técnica de TVC los muros se elaboran en sitio, por lo que el agua utilizada durante todo el proceso de elaboración de muros en TVC es la misma.

5.3 Propuesta

Una vez obtenidos los resultados de resistencia a la compresión se recomienda lo siguiente:

- Aumentar el porcentaje de estabilizantes de origen natural: debido a que el porcentaje de cal utilizado en los ensayos es mucho menor con respecto de los otros componentes, se propone aumentar la cantidad de manera porcentual.
- Utilización de puzolanas amorfas para mejorar desempeño en la prueba de resistencia: las puzolanas amorfas pueden ser utilizadas en pequeñas cantidades y solo para la prueba de resistencia, son consideradas como eco materiales.
- Se concluye con el diseño de mampostería para la edificación de un módulo experimental de 2mts X 3mts en el municipio de García.

BIBLIOGRAFIA

- (1997). New York: McGraw Hill.
- AESPAC. (2015, 9 10). *AESPAC*. Retrieved 9 16, 2015, from <http://aespac.org/editorial/>
- AgroDer. (2012). *Huella hídrica en México en el contexto de Norteamérica*. México DF.: WWF.
- Aguero, J., & Alvarado, A. (1983). *Compactacion y compactabilidad de suelos agricolas y ganaderos de Guanacaste, Costa Rica*. Retrieved 4 29, 2015, from http://www.mag.go.cr/rev_agr/v07n1-2_027.pdf
- Araiza, R. (n.d.). <http://www.inti.gov.ar/> . Retrieved 12 3, 2015, from http://www.inti.gov.ar/prodiseno/pdf/N101_sustentable.pdf
- Asociación Ecológica Sierra Picachos. (2015, 9 10). *AESPAC*. Retrieved 9 16, 2015, from <http://aespac.org/editorial/>
- Carazas, W. (2014). *Bahareque Ceren*. El Salvador: Misereor.
- Chomsky, N. (2003). The corporation. (A. J. Achabar Mark, Interviewer)
- CONAGUA. (2012). *Hinfografía Huella Hidrica PDF*. Retrieved 4 25, 2016, from www.conagua.gob.mx:
<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/Infograf%C3%ADa%20Huella%20H%C3%ADdrica.pdf>

- Congreso del estado de Nuevo Leon, s. t. (2013). *Plazo para reubicar pedreras del area metropolitana de Monterrey*. Retrieved 5 28, 2015, from http://www.hcnl.gob.mx/trabajo_legislativo/dictamenes/8016lxxiii/
- Cronbach, L. .. (1951). *Psychometrika*. Springer.
- Del Roble, J. (1999). *Monografía fia de Villa de García Nuevo león*. García: Consejo ciudadano pro Villa de García A.C.
- Delgado, J. L. (n.d.). *Reflexones sobre el problema de la vivienda en Mexico*. Retrieved 10 2, 2014, from <http://www.uam.mx/difusion/revista/oct2001/archi1.pdf>
- Dellavedova, M. (2010). *Guia Metodologica para la elaboracion de una evaluacion de impacto ambiental*. La Plata: Universidad Nacional de la Plata Facultad de Arquitectura y Urbanismo.
- ECHEVERRI, X. (2014). Estimación de la huella hídrica en la extracción de caliza a cielo abierto y propuesta de una política de integración sostenible del recurso hídrico – caso planta Rioclaro, Argos. Medellín, Colombia.
- Edwards, B. (2008). *Guia Basica de la Sostenibilidad*. Barcelona: Gurstavo Gili.
- Eyrin, G. (1992). *Green Products by Design: Choices for a Cleaner Environment*. Washington : Office of Technology Assessment.
- (1992). Aspectos generales de la ecología en zonas aridas. In E. Ezcurra, *Temas selectos sobre ecología en zonas semiaridas* (pp. 1-13). La Paz: Universidad Autonoma de Baja California Sur.
- Facultad de Ingenieria Civil. (2014, 02 17). Masa especifica relativa de los solidos. Nuevo Leon, Mexico: UANL.
- Flores, A. (2008). *Calicanto*. Monterrey: Universidad Autonoma de Nuevo Leon.
- Flores, A. (2014). La casa como patrimonio. *Revista Ciencia UANL*, 28-32.
- Flores, L. (2009). *La vivienda en Mexico y la poblacion en condiciones de pobreza*. Distrito Federal: Centro de Estudios sociales y de opinion publica de la camara de diputados, LX legislatura.
- Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A. (n.d.). *Centro Virtual de Informacion del Agua*. Retrieved 5 28, 2016, from [agua.org.mx: http://www.agua.org.mx/el-agua/agua-en-el-planeta/cuantahay](http://www.agua.org.mx/el-agua/agua-en-el-planeta/cuantahay)
- Gastón, P. (2009). *Materiales ceramicos*. Rosario: Universidad Nacional de Rosario.

- Gerrero, L., Soria, F., García, J., & Fernández, F. (2015). Comportamiento bioclimático de un módulo experimental construido con tierra vertida compactada en la Ciudad de Mexico. *EURO ELECS*, 9.
- Guerreo, L., Francisco, S., & Roux, R. (2014). Edificacion de muros de tierra vertida estabilizados con cal y puzolanas. *Arquitectura de tierra: patrimonio y sustentabilidad en las regiones sismicas*, 6.
- Guerrero, L. (1994). *Arquitectura de Tierra*. Mexico: Universidad Metropolitana de Xoximilco, Unidad Azcapotzalco.
- Guerrero, L., Soria, F., & Garcia, J. F. (2015). *Comportamiento bioclimatico de un modulo experimental construido con tierra vertida compactada en la Ciudad de Mexico*. Guimaraes: Euro Elecs.
- Keoleian, G. A., & Menery, D. (1993). *Life Cycle Design Guidance Manual*. Ann Arbor: National pollution prevention center, University of Michigan.
- Laboratorio de mecanica de suelos. (2014). *Masa especifica y relativa de los solidos*. San Nicolas de los Garza: FIC.
- laboris.net. (1999, 12 13). *Método Delphi: sondeo de expertos*. Retrieved 4 10, 2016, from http://www.laboris.net/static/em_diccionario_metodo-delphi.aspx
- Martín, C. (2007). *Indicadores de Calidad Ambiental*. Retrieved 19 4, 2015, from <http://wp.ufpel.edu.br/consagro/files/2010/10/2-1-Clase.pdf>
- Martins, C., Faria, O., Rotondaro, R., & Cevallos Patricio, H. M. (2009). Selecccion de suelos. *Pro terra*, 6-11.
- McDonough, W., & Braungart, M. (2002). *Cradle to Cradle*. New York: North Point Press.
- México, L. d. (2006, Junio). *Ley de Vivienda de México*. Mexico: Diario oficial de la federación .
- Miller, G. T. (1992). *Living in Enviroment, an introduction to enviromental science* . Estados Unidos de America: Wadsworth Publishing Company.
- Miller, T. G. (1994). *Ecologia y medio ambiente*. Mexico D.F.: Grupo Editorial Iberoamericana .
- Minke, G. (2000). *Earth Construcccion Handbook*. U.K.: Wit Press.
- Minke, G. (2000). *Earth Construcition Handbook*. Southhampton: Wit Press.

- Minke, G. (2000). *Earth construction handbook*. Southampton: Witt press.
- Montemayor, J. A., Ugalde, P. V., Del Castillo, M. M., & Cruz, F. P. (2015). *Energeticos y la supervivencia de la humanidad*. Mexico DF.: Mexicanos Unidos.
- Montemayor, J., Ugalde, P., Marcelo, D. C., & Cruz, F. (2015). *Energeticos y supervivencia Humana*. Mexico: Mexicanos Unidos.
- Nadeo, J., & Leoni, A. (n.d.). *Universidad Nacional de La Plata*. Retrieved 4 29, 2015, from <http://www.ing.unlp.edu.ar/constr/g1/Propiedades%20caracteristicas%20de%20los%20suelos.pdf>
- National Lime Association. (2006, Enero). *Manual de estabiizacion de suelo tratado con cal*. Retrieved 29 4, 2015, from https://lime.org/documents/publications/free_downloads/construct-manual-spanish2004.pdf
- ONNCCE. (2005). *Norma Mexicana NMX-C-036-ONNCCE-2005*. Distrito Federal: Organismo Nacional de Normalizacion y certificacion de la construccion y la edificacion, S.C.
- ONNCCE. (2005). *NORMA MEXICANA NMX-C-404-ONNCCE-2005*. Mexico DF.: ONNCCE.
- ONNCCE. (2014). *Norma Mexicana NMX-C165-ONNCCE-2014*. Mexico D.F.: Diario oficial de la federacion .
- ONU. (1972). *UN department of Economic and Social Affairs*. Retrieved 5 28, 2015, from <https://archive.is/20120629092745/www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda21/english/agenda21toc.htm>
- Organismo Nacional de Normalizacion y certificacion de la construccion y edificacion, S.C. (2014). *Norma Mexicana NMX-CONCCE-2014*. Diario Oficial de la Federacion .
- Organizacion Mundial de la Salud. (2014, marzo). *whi.int*. Retrieved 10 11, 2014, from <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>
- Pauli, G. (2011). *La Economía Azul*. Tus Quets.
- Peña, B. L. (2015). Impactos ambientales en la periferia de Ciudad Juarez. Pobreza y contaminacion. In B. L. Peña, *Investigacion en Arquitectura. Habitabilidad y*

- sustentabilidad* (p. 151). Ciudad Juárez: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.
- Plaza, A. A. (2011, 10 22). <http://www5.uva.es>. Retrieved 7 27, 2014, from grupotierra: http://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones/digital/libro2011/2011_9788469481073_p277-286_ruiz.pdf
- PNUD. (2016). <http://www.undp.org>. Retrieved 4 19, 2016, from <http://www.undp.org/content/undp/es/home/sdgoverview/post-2015-development-agenda/goal-13.html>
- Rapoport, A. (1969). *House form and culture*. Milwaukee: University of Wisconsin .
- Rodriguez, E. (2016, 2 27). Enferma a regiones que respiran. *Horizonte*.
- Rosnay. (1975). *Le macroscopie vers une vision globale*. Paris: Edition du Seuil.
- Sahop. (1997). *Elemento para una politica nacional de vivienda* . Mexico: Direccion general de equipamiento urbano y vivienda.
- Sainz, J., & Becerra, M. (2007, 08 27). *Instituto Nacional De Ecologia* . Retrieved 4 18, 2015, from Los conflictos por el agua en Mexico: avances de investigacion: http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/gacetitas/389/conf_agua.html
- Sampieri, R. H., Colloado, C. F., & Lucio, P. B. (2006). *Metodología de la investigación* . Mexico: McGraw Hill.
- SEMARNAT. (2012). semarnat.gob.mx. Retrieved 10 10, 2014, from http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/compendio/dgeiawf.semarnat.gob.mx_8080/ibi_apps/WFServlet245f.html
- Steele, J. (1997). New York: McGraw Hill.
- Steele, J. (1997). Sustainable Architecture. In S. James, *Sustainable Architecture Principles, Paradigms, and Case Studies* (p. 288). McGraw Hill.
- Stulz, R., & Mukerji, K. (1983). *Materiales de construcción apropiados*. Londres: IT publications.
- Valderrama, J. O. (2011). *Huella de carbono, un concepto que no puede estar ausente en cursos de ingeniería y ciencias*.
- Viveros, T., & Godínez, R. (2015). *Cambio climático y derechos humanos*. Mexico DF.: Comisión Nacional de Derechos Humanos.

- Water Footprint. (2013, 6 26). *waterfootprint.org*. Retrieved 4 25, 2016, from http://waterfootprint.org/media/downloads/Vanham-et-al-2013_1_1.pdf
- Wiedmann, T., & Minx, J. (2007). *A Definition of 'Carbon Footprint'*. United Kingdom: Center of sustainability accounting Ltd.
- Wiesenfeld, E. (2001). *La autoconstruccion* . Venezuela: Comision de Estudios de Posgrado, Facultad de Humanidades y Educacion. Universidad Central de Venezuela.
- William D., C. (1998). *Materiales ceramicos*. Reverte.
- Zarate, G. T. (n.d.). *arquitecturaypatrimonio.com*. Retrieved 7 28, 2014, from <http://www.arquitecturaypatrimonio.com.mx/html/ARTICULO18.pdf>

ANEXOS

ANEXO 1

DISEÑO DE INSTRUMENTO CUANTITATIVO EXPERIMENTAL

PRIMERA FASE

Procedimiento de ensayo para especímenes norma basado en la norma NMX C-165-ONNCCE-2014

Como primera fase para llevar a cabo el experimento se realizó el Ensayo que marca la Norma Mexicana NMX-C165-ONNCCE-2014 para la determinación del peso específico relativo de los agregados (ONNCCE, 2014).

Una vez obtenidos los resultados de la Densidad de los Componentes de la Unidad de Mampostería en Tierra Vertida Compactada, que consta de arcilla del municipio de García, Arena cribada #4, cal marca calidra, y agua, se tomó lectura de las densidades de los cuatro materiales que componen la mampostería.

ARCILLA

- Se utilizó el laboratorio de mecánica de suelos
- Se utilizó el método general para la obtención de la densidad o la masa específica relativa de los sólidos de los materiales no cohesivos, cohesivos y gravas.

La masa específica relativa de los sólidos de un suelo o densidad de sólidos, la relación entre el peso específico de la materia que constituyen las partículas del suelo y el peso específico del agua destilada.

$$S_s = \frac{\gamma_{material}}{\gamma_{agua}}$$

Dónde:

Ss=Densidad de solidos

Y= Peso específico

Experimento para obtener densidad de la arcilla

En la práctica, la densidad de los sólidos se obtiene como la relación entre el peso de los sólidos y el volumen de agua que desalojan a la temperatura ambiente (principio de Arquímedes).

El detalle consiste en que las partículas de sólido gruesas contienen aire atrapado en poros impermeables que solo podrían eliminarse rompiendo las partículas en granos más finos. Por lo anterior la densidad obtenida en estos casos es una densidad de sólidos aparente.

Para el ensayo de laboratorio se utilizó un matraz aforado y las expresiones utilizadas son :

P_{ma} = Peso del matraz + agua destilada hasta la marca de aforo del matraz

P_{mas} = Peso del matraz + agua destilada hasta la marca de aforo del matraz + suelo seco

Entonces se tiene:



$$P_{mas} - P_{ma} = P_s - P_{ads}$$

Dónde:


P_{mas} = Peso del matraz + agua destilada hasta la marca del aforo + suelo seco	711.6 gr
P_{ma} = peso del matraz + agua destilada hasta marca del aforo	507.03 gr
P_s = peso del suelo seco	45.77 gr
P_{ads} = peso del agua desplazada por los sólidos	665.83 gr
	2.66 gr

Procedimiento para obtener peso seco: La muestra conocida se miente al horno, la norma indica una cantidad recomendada de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas. Este resultado se llama peso seco.

Método de ensayo:

La tierra se colocó en el mortero para quitar grumos	
Se pasó por tamiz en la malla #4	

|

Se colocó la arcilla en balanza 35 gr	
El matraz #5.5 con peso: 169.57 gr	
Se colocó la arcilla dentro del matraz 35 gr	
Se agregó agua hasta la marca del aforo	
El peso del matraz + agua + solido : PMAS = 711.6	
$169.57 + 35 + 507.03 = 711.6$	
Peso del matraz + agua hasta marca del aforo Pma = 507.03	
PARA EL PESO SECO	
Peso de la charola #206 124.8gr	
Se colocó la arcilla a secar durante 24 hrs. El peso de la arcilla secada al horno en la charola #206 fue= 170.56	
Es decir que el Pesos seco = 170.57gr – 124.08 gr = Ps=45.77gr	

Corroboración del experimento

Peso del matraz con agua: 49.9gr

Arcilla: 20 gramos

Desplazamiento: 57.5

Resultado del desplazamiento = 2.66

Botella con agua y tapón= 868.2

Botella sola =202.1

Arena Triple s =200

ARENA

- Densidad del agregado fino arena cribada #4
- Norma NMX-C-165-ONNCCE-2014

Esta norma establece el método de ensayo para la determinación de la densidad relativa aparente y la absorción del agregado fino en la condición saturada y superficialmente seca. Esta norma aplica a los agregados finos de un tamaño máximo de 4.75mm (malla #4).

Para determinar la Densidad:

Densidad relativa aparente saturada y superficialmente seca (Dr. SSS)

Es la relación de la densidad del agregado saturado y superficialmente seco a la densidad del agua, equivalente a la relación de la masa del agregado saturado superficialmente seco a la masa del volumen del agua desalojada considerando la masa de las partículas saturadas de agua y superficialmente secas y la masa de las partículas de agua que se incluyen en los poros que se encuentran dentro de las mismas.

Densidad relativa aparente seca (Dr S)

Es la relación de la densidad de la masa del agregado seco a la densidad del agua equivalente a la relación de la masa del agregado a la masa del volumen del agua desalojado considerando la masa de las partículas saturadas de agua y superficialmente secas y la masa de las partículas de agua que se incluyen en los poros que se encuentran en las mismas.

Se calcula la densidad relativa aparente saturada y superficialmente seca:
Dónde:

$$Dr. sss = \frac{M_{sss}}{M_{pa} + M_{sss} - M_{pma}} = \text{Densidad} = 2.7$$

Dr.sss: densidad relativa aparente saturada y superficialmente seca	
Mpa: Masa del picnómetro lleno de agua en gr.	
Msss: Masa de la muestra saturada y superficialmente seca en gr.	200
Mpma: masa del picnómetro + muestra + agua hasta nivel del aforo	

Para Determinar la Absorción:






Es el incremento en la masa de un agregado seco, cuando es sumergido en agua durante 24 hrs. A temperatura ambiente, este aumento de masa se debe al agua que se introduce en los poros del material y no incluye el agua adherida a la superficie de las partículas. Es el índice de la porosidad del material.

Dónde:

$$A = \frac{M_{sss} - M_s}{M_s} \times 100$$

A= la absorción en %	1.41gr
Msss= la masa de la muestra saturada y superficialmente seca en gr.	200 gr.
Ms= Es la masa de la muestra seca en gr.	197.2 gr.

Método de ensayo para arena

Se determinan los 4 estados del agregado	    <p>Seco al horno Seco al aire Saturado superficialmente seco Sobresaturado</p>
Se deja saturar el agregado durante 24 hrs.	

|

Se procede a secar el agregado para que quede en el estado "saturado superficialmente seco"	  
Se realiza la prueba del cono. Norma NMX-C-165-ONNCCE-2014	  
Una vez que la muestra se encuentra en estado de triple S se pesa La muestra peso 200.1 gr	
Posteriormente se mete a secar al horno durante 24 hrs. La muestra peso 197.2 gr.	

CAL

- Se utiliza la misma normativa para obtener el peso específico relativo del cemento
- Norma ASTM C 188-95

El peso de una sustancia se define como el peso por unidad de volumen, se calcula al dividir el peso de la sustancia entre el volumen que esta ocupa. En el sistema métrico decimal se mide en kilogramo por metro cubico (kg/m^3).

|

Dónde:




$$D = p/v$$

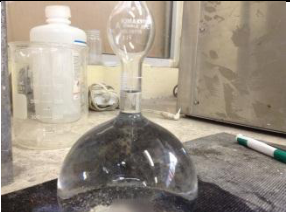




P= peso de la muestra

V= diferencia de lecturas

D= densidad	53/23.5=2.25
P= peso de la muestra	53 gr.
V= diferencia de lecturas	23.4-23.6 se saca media = 23.5

Método de ensayo

Se separa y pesa la cal De 50 a 55 gramos	
Se coloca etanol en frasco de chatelier hasta llegar a .5 ml	
Se coloca el frasco de chatelier dentro del baño maría y se estabiliza a 20°C durante 20 minutos	

Después de 20 min. Se toma lectura: -3 ml	
Se introducen la cal dentro del frasco de chatelier: 53gr	
Se somete a ultrasonido hasta que desaparecen las burbujas	
El frasco de chatelier se coloca nuevamente dentro del baño maría para estabilizar a 20°C	
Se toma lectrua: 23.4 ml	

Se repite el método de ensayo para corroborar medición

Se separa y pesa la cal De 50 a 55 gramos
Se coloca etanol en frasco de chatelier hasta llegar a .5 ml
Se coloca el frasco de chatelier dentro del baño maría y se estabiliza a 20°C
Se deja por 20 minutos y se toma lectura de la estabilización del alcohol
Después de 20 min. Se toma lectura: -3 ml
Se introducen la cal dentro del frasco de chatelier: 53gr
Se somete a ultrasonido hasta que desaparecen las burbujas
El frasco de chatelier se coloca nuevamente dentro del baño maría para estabilizar a 20°C

|

Se toma lectrua: 23.6 ml

Resultado de Densidades

Arcilla	2.66 gr/ cm ³
Cal	2.5 gr/ cm ³
Arena	2.7 gr/ cm ³
agua	1gr/ cm ³

SEGUNDA FASE

Procedimiento de ensayo para especímenes norma basado en la norma NMX C-036-ONNCCE-2005.

Una vez determinada la densidad de cada uno de los materiales con los que está hecha la mampostería, se procede a medir los porcentajes de componentes de la mezcla para elaborar los especímenes.

Para sacar los porcentajes:

Ensayo 1

Material	Densidad gr/cm ³		Volumen cm ³		Masa	%
Arcilla	2.66gr/cm ³	x	357.5	=	950.95	69.38
cal	2.55	x	58	=	147.9	10.78
arena	2.7	X	58	=	156.6	11.41
agua	1	x	116	=	165	8.45

Ensayo 2

Material	Densidad gr/cm ³		VolumenC m ³		Masa gr	%
Arcilla	2.66gr/cm ³	x	178.74	=	475.47	64.84
cal	2.55	x	41.24	=	105.18	14.34
arena	2.7	x	41.24	=	111.37	15.18
agua	1	x	41.25	=	41.25	5.62

Ensayo 3

Material	Densidad gr/cm ³		Volumen cm ³		Masa gr	%
Arcilla	2.66gr/cm ³	x	238.79	=	715	59
cal	2.55	x	64.70	=	165	13.63
arena	2.7	x	61.11	=	165	13.63
agua	1	x	165	=	165	13.63

Ensayo 4

Material	Densidad gr/cm ³		Volumen cm ³		Masa gr	%
Arcilla	2.66gr/cm ³	x	268.79	=	715	58
cal	2.55	x	74.07	=	200	16.47
arena	2.7	x	64.70	=	165	13.59
agua	1	x	135	=	135	11.12

Los criterios utilizados para seleccionar los porcentajes de contenido de la mezclas se basaron en porcentajes de un ensayo de mampostería el cual se elaboró previamente.

El método que se siguió fue similar para cada una de las muestras; se elaboraron las mezclas dentro de una batidora y se siguió el siguiente procedimiento:

- se colocó la arcilla
- se le agrego la arena cribada
- se mezcló durante 50 segundos
- se agregó la cal
- se mezcló durante 2 minuto
- se agregó agua
- se mezcló durante 1 minuto

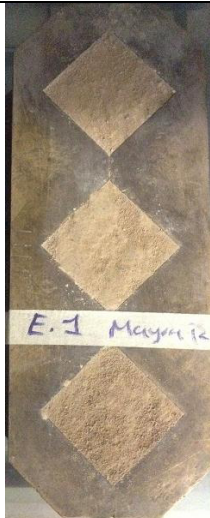
Una vez hecha la mezcla se procedió a colocar la misma en los recipientes, el procedimiento que se siguió fue el siguiente:

- se coloca la mezcla hasta la mitad del recipiente
- se compacta la mezcla con un pisón de neopreno



- la mezcla se apisona de forma irregular hasta que quede bien compactada (50 veces aprox).
- Se rellena el hueco hasta el tope para completar el volumen del molde
- Se apisona la mezcla nuevamente (50 veces aprox)
- Se termina de rellenar hasta el tope
- Se apisona nuevamente



Porcentajes de cada muestra de especímenes:

<p>Ensayo 1</p> <p>Arcilla 69.38%</p> <p>Cal 10.78%</p> <p>Arena 11.41%</p> <p>Agua 8.45%</p>	
------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

|

<p>Ensayo 2</p> <p>Arcilla 64.48 %</p> <p>Cal 14.34%</p> <p>Arena 15.18%</p> <p>Agua 5.62%</p>		
<p>Ensayo 3</p> <p>Arcilla 59%</p> <p>Cal 13.63%</p> <p>Arena 13.63%</p> <p>Agua 13.63%</p>		

|

Ensayo 4

Arcilla 58%

Cal 16.47%

Arena 13.59%

Agua 11.12%



Para llevar los ensayos de resistencia, los especímenes se desmoldaron 6 días después de que se rellenara la mezcla en los moldes y se dejaron secar durante 8 días.



Se verifico que el espécimen más resistente era el número 3 y es el que se acerca más a los porcentajes utilizados en la mampostería de tierra previamente elaborada.

ANEXO 2 ENCUESTA



El objetivo de esta encuesta es conocer su opinión sobre el impacto ambiental negativo que genera la industria de la construcción basada en materiales de alto impacto energético tal como el block de concreto. Su opinión es muy importante para este estudio. Los datos serán tratados de manera confidencial.

Datos generales: Edad ____ Género ____ Estado Civil ____ Nivel de estudios ____ Ocupación ____ Va a adquirir casa ____

Instrucciones: En las siguientes casillas, favor de calificar cada una de las preguntas eligiendo una de las opciones del 1 al 5 donde 1. Muy en desacuerdo, 2. En desacuerdo, 3. Ni de acuerdo ni en desacuerdo, 4. De acuerdo, y 5. Muy de acuerdo.

Sustentabilidad para la construcción

1. Puedo adquirir los materiales de construcción como el block de concreto fácilmente
1. 2. 3. 4. 5.
2. Los materiales con los que está hecho mi vivienda me aíslan muy bien del frío, el calor y el ruido.
1. 2. 3. 4. 5.
3. Los materiales actuales de construcción para la vivienda hechos de concreto/ cemento (block) son estéticos sin aplicar acabados.
1. 2. 3. 4. 5.
4. Los materiales industrializados como el block de cemento/concreto afectan el medio ambiente.
1. 2. 3. 4. 5.
5. Estoy consciente del daño al ambiente que ocasiona el uso de block de concreto.
1. 2. 3. 4. 5.
6. Si fuera posible, cambiaría el uso de materiales de concreto /cemento, por uno que no dañe el entorno natural Existen
1. 2. 3. 4. 5.
7. Hay materiales de construcción muy económicos que ayudan a cuidar el medio ambiente.
1. 2. 3. 4. 5.

Conservación del agua en la construcción

8. Considero que el agua es de gran importancia para mi vida diaria
1. 2. 3. 4. 5.
9. Hay disponibilidad de agua en donde vivo
1. 2. 3. 4. 5.
10. El agua que consumo es potable (la puedo beber)
1. 2. 3. 4. 5.
11. El agua que consumo es de fácil acceso
1. 2. 3. 4. 5.
12. El agua que consumo es económica.
1. 2. 3. 4. 5.
13. Estoy enterado de que en la construcción se utiliza considerablemente el agua
1. 2. 3. 4. 5.
14. Tengo conocimiento que en la industria de la construcción se utilizan agua potable durante el proceso de edificación de muros.
1. 2. 3. 4. 5.
15. El uso del agua debe reducirse en las actividades para la construcción.
1. 2. 3. 4. 5.
16. Utilizaría un block que utilice menos agua para en su proceso de elaboración.
1. 2. 3. 4. 5.
17. Pagaría lo mismo por un sistema constructivo que utilice menos agua
1. 2. 3. 4. 5.

Sistemas constructivos de tierra**Comentarios adicionales**

18. La tierra es un material eficiente para la construcción de viviendas

1.	2.	3.	4.	5.
----	----	----	----	----

19. el uso de sistemas constructivos de tierra podría favorecer a reducir el impacto ambiental generado por la industria de la construcción

1.	2.	3.	4.	5.
----	----	----	----	----

20. Los sistemas constructivos de tierra reducen considerablemente el uso de agua potable para la construcción de viviendas

1.	2.	3.	4.	5.
----	----	----	----	----

21. Creo que la tierra pudiera ser un material de construcción tan eficiente como los materiales convencionales

1.	2.	3.	4.	5.
----	----	----	----	----

22. La tierra como material de construcción es más térmico y acústico que los materiales industrializados.

1.	2.	3.	4.	5.
----	----	----	----	----

23. Conozco algún sistema constructivo que utilice la tierra como material de construcción.

1.	2.	3.	4.	5.
----	----	----	----	----

24. Utilizaría un sistema que mejore la calidad térmica y acústica en los sistemas constructivos.

1.	2.	3.	4.	5.
----	----	----	----	----

|

ANEXO 3

PROPUESTA DE PROTOTIPO EXPERIMENTAL



El prototipo de edificación que se propone en la técnica de TVC, consta de cimentación de piedra regional con mortero de cal y arena, para el techo se propone techo verde de cactáceas regionales.

El modulo experimental tiene una medida de 2mts x 3mts con una altura de 2.3mts, el objetivo es proporcionar a los habitantes de García, la posibilidad de vivenciar el entorno real las propiedades térmicas y acústicas que brindan estas construcciones, así como su mimetización y armonía con el entorno natural.

|

ANEXO 4

TABLAS DE CORRELACION

Tabla de Correlación Alta

IND 1	IND 2	VALOR
6	1	0.4929
10	2	0.5039
9	3	0.4379
5	4	0.5308
15	5	0.4969
14	6	0.5095
11	7	0.4103
22	8	0.5431
11	9	0.7195
11	10	0.767
12	11	0.6906
13	12	0.674
16	13	0.6109
15	14	0.5918
16	15	0.6372

Tabla de Correlación Baja

IND 1	IND 2	VALOR	
	1	17	0.1797
	2	16	0.154
	3	7	0.0995
	4	18	0.1826
	5	17	0.1194
	6	23	0.2938
	7	17	0.1731
	8	23	0.2513
	9	23	0.2271
	10	17	0.2989
	11	17	0.311
	12	24	0.3459
	13	23	0.2948
	14	17	0.2496
	15	21	0.3526